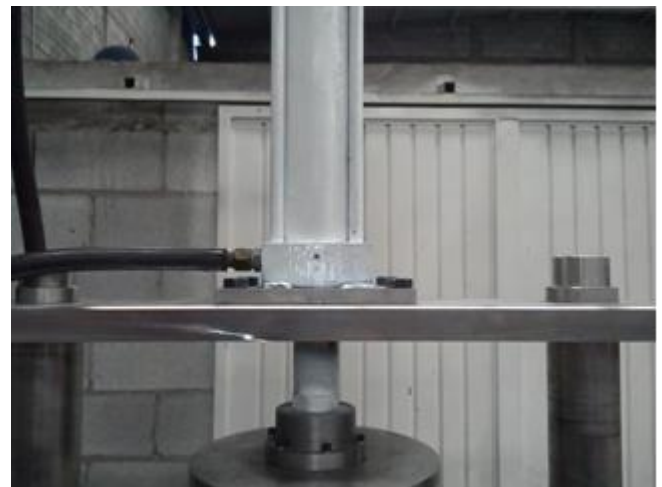




INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA Y HERMETICIDAD

DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE
PROTOTIPOS DE VÁLVULAS TIPO GLOBO EN ACERO
INOXIDABLE 316L Y ASIENTOS POLIMÉRICOS

PROGRAMA DE APOYO PARA LA MEJORA TECNOLÓGICA DE LA
INDUSTRIA DE ALTA TECNOLOGÍA



Construcción de sistema de sujeción de válvulas de modo superior e inferior



Sistema de sujeción de válvulas



Sistema hidráulico para baja y alta presión



Sistema de control de banco de pruebas de hasta 12" y 270 lbs/pug²



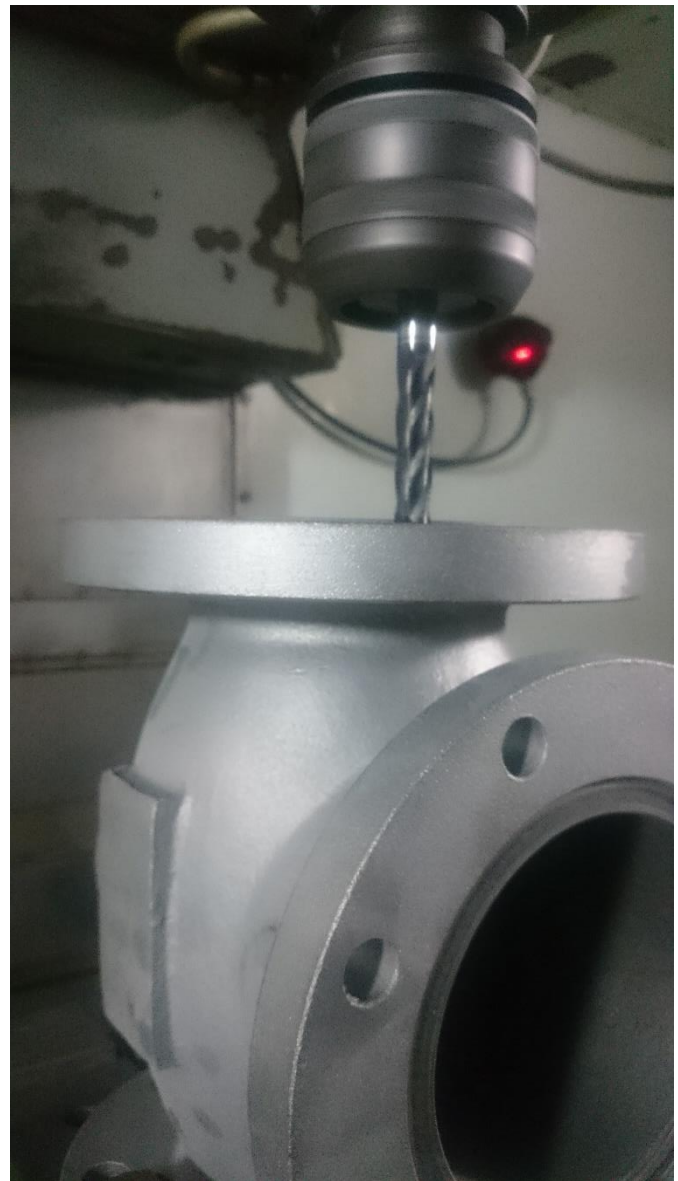
MAQUINADO MEDIANTE CNC DE COMPONENTES VACIADOS DE VÁLVULAS GLOBO DE 4"

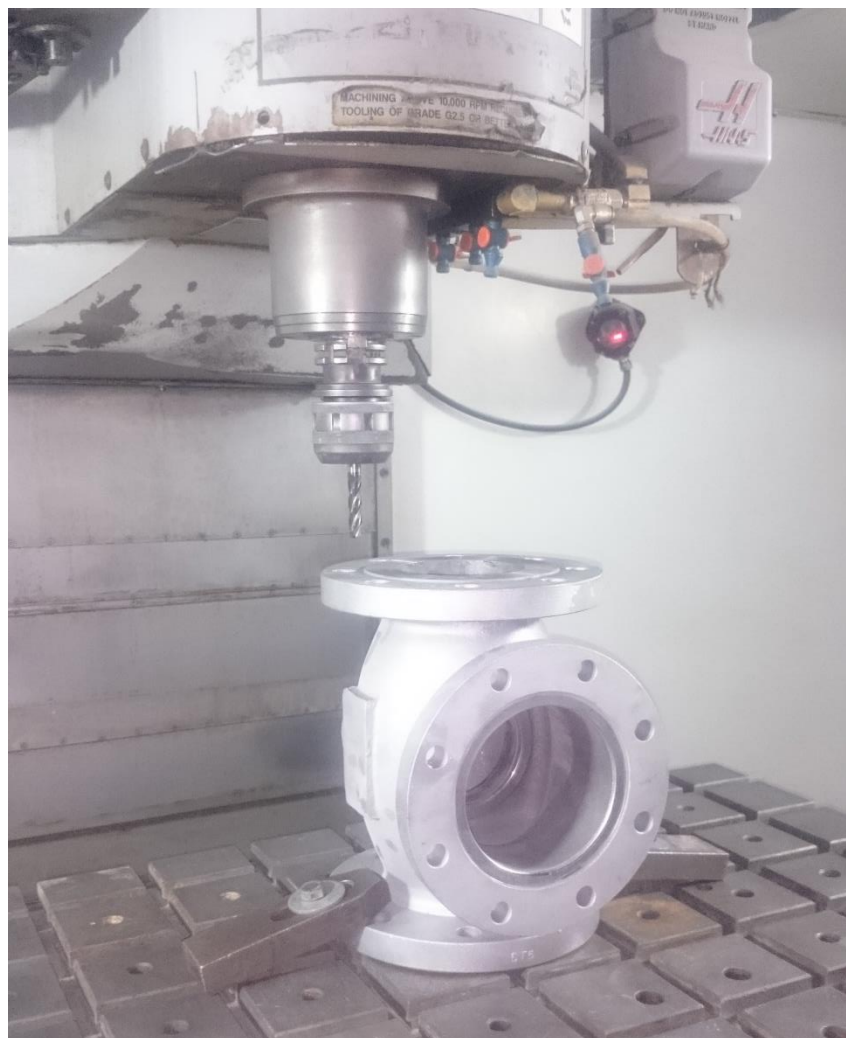
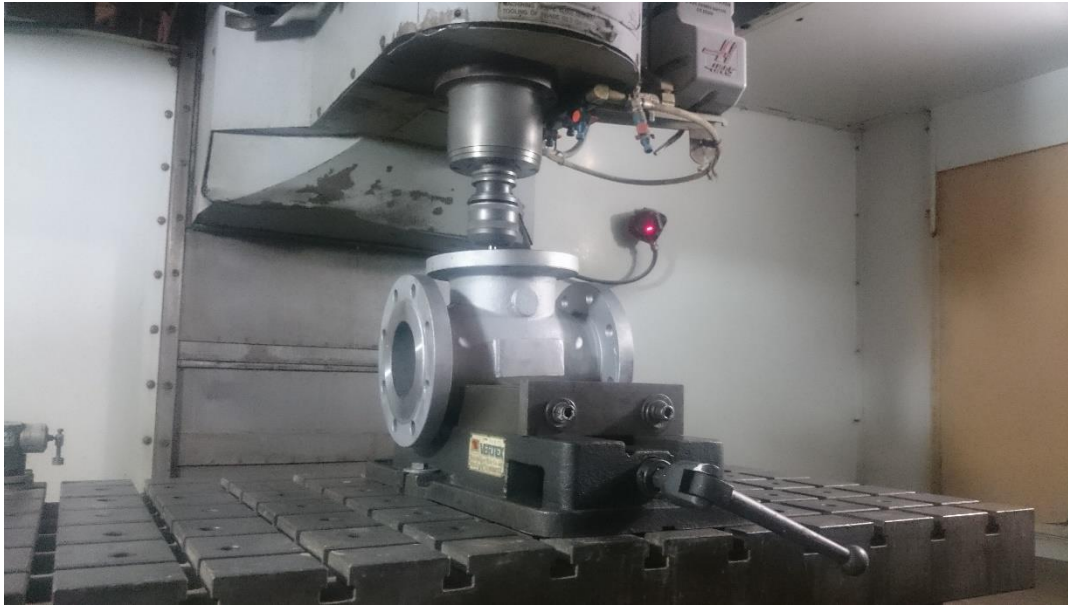
DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE
PROTOTIPOS DE VÁLVULAS TIPO GLOBO EN ACERO
INOXIDABLE 316L Y ASIENTOS POLIMÉRICOS

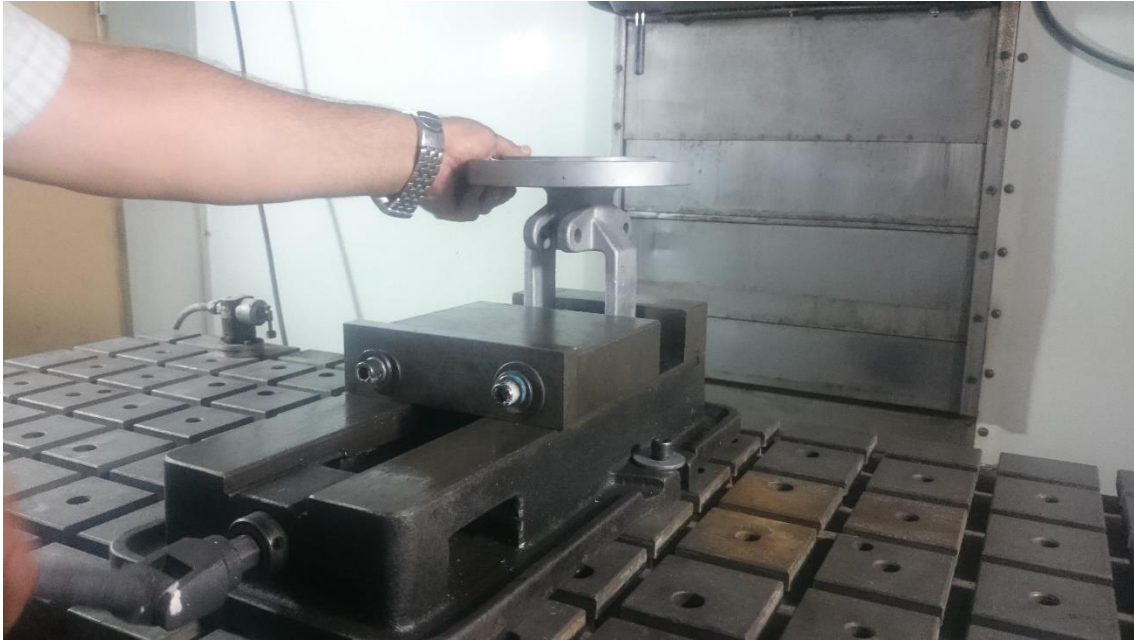
PROGRAMA DE APOYO PARA LA MEJORA TECNOLÓGICA DE LA
INDUSTRIA DE ALTA TECNOLOGÍA

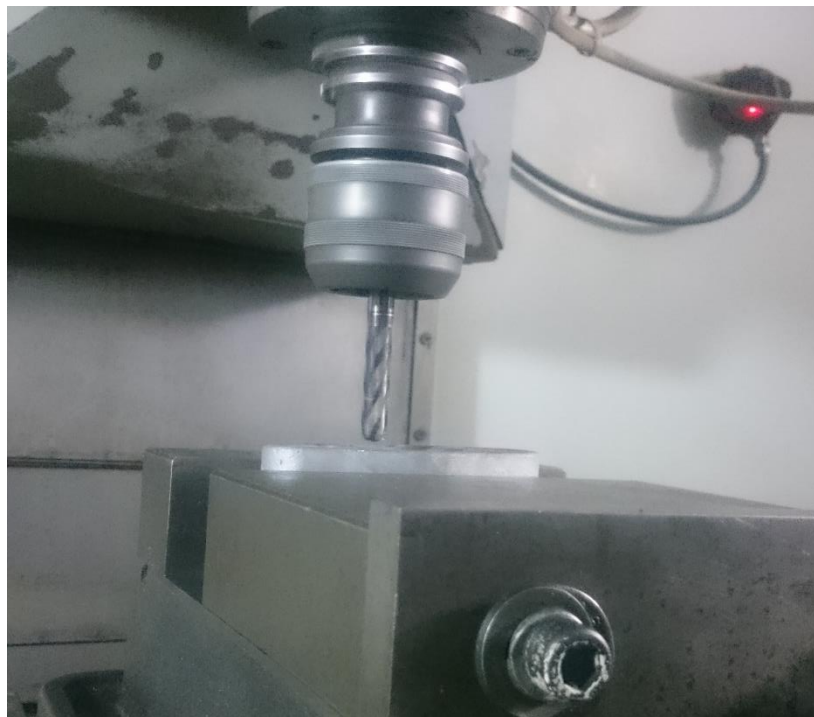


MAQUINADO MEDIANTE CNC DE COMPONENTES VACIADOS DE VÁLVULAS GLOBO DE 4"













MODELO DE UTILIDAD:
DISEÑO DE CUERPO DE VÁLVULA INDUSTRIAL DE
CUATRO PULGADAS CON SISTEMA DE REEMPLAZO DE
ASIENTO
MX/u/2016/000551
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD
INDUSTRIAL

DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE
PROTOTIPOS DE VÁLVULAS TIPO GLOBO EN ACERO
INOXIDABLE 316L Y ASIENTOS POLIMÉRICOS

PROGRAMA DE APOYO PARA LA MEJORA TECNOLÓGICA DE LA
INDUSTRIA DE ALTA TECNOLOGÍA



MX/u/2016/000551

DIRECCIÓN DIVISIONAL DE PATENTES.

SUBDIRECCIÓN DIVISIONAL DE PROCESAMIENTO ADMINISTRATIVO DE PATENTES.

COORDINACIÓN DEPARTAMENTAL DE RECEPCIÓN Y CONTROL DE DOCUMENTOS.

EXPEDIENTE: MX/u/2016/000551
FOLIO DE RECEPCIÓN: MX/E/2016/083914
IDENTIFICADOR DE LA SOLICITUD: 34944

LUGAR, FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE LA SOLICITUD:
CIUDAD DE MEXICO 23/11/2016 12:20:50

ACUSE DE RECIBO DE LA SOLICITUD DE:

Modelo de Utilidad

SOLICITANTE(S) O REPRESENTANTE LEGAL:

MA. ELENA MONTESINOS OCHOA

DOCUMENTOS DE LA SOLICITUD:

DOCUMENTO	NOMBRE ARCHIVO	TAMANO	HOJA(S)
* SOLICITUD	formatoSolicitud.pdf	92 KB	1
* COMPROBANTE PAGO	anexoComprobante10029007571	27 KB	1
* HOJA DE DESCUENTO	hojaDescuento.pdf	42 KB	1
* ACTA CONSTITUTIVA	ACTA CONSTITUTIVA FAE.pdf	3235 KB	18
* DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN.pdf	20 KB	4
* REIVINDICACION	Reivindicaciones.pdf	8 KB	1
* DOCUMENTO RESUMEN	RESUMEN.pdf	7 KB	1
* FIGURAS			
	Imagen1.jpg	47 KB	1
	Imagen2.jpg	49 KB	1
	Imagen3.jpg	21 KB	1
	Imagen4.jpg	71 KB	1

TOTAL DE HOJAS: 31 (No se incluyen hojas del acuse)

Los documentos adjuntos están sujetos al estudio correspondiente que el Instituto realice de conformidad con la Ley de la Propiedad Industrial y su Reglamento.

EL FIRMANTE MANIFESTÓ:

Que reconoce como propia y auténtica la información contenida en la solicitud enviada a través de este medio, asumiendo la responsabilidad por el uso de su nombre de usuario, contraseña y FIEL por persona distinta a la autorizada, por lo que de ocurrir ese supuesto se les atribuirá la autoría de la información que se envíe a través del PASE.

Declaró bajo protesta de decir verdad que cuenta con un domicilio en la República Mexicana.

Declaró bajo protesta de decir verdad que los documentos anexos a la solicitud son copia íntegra e inalterada del documento impreso.

Bajo protesta de decir verdad declaró, que se encuentra en el supuesto con respecto al beneficio señalado en la Cuarta Disposición General de la Tarifa por los servicios que presta este Instituto, por lo que solicitó el 50% de descuento de la tarifa establecida, para los artículos que aplique dicho descuento. Se hace la presente declaración en cumplimiento de dicha disposición, según el acuerdo por el que se da a conocer la tarifa por los servicios que presta el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, publicado en el Diario Oficial de la Federación con fecha 23 de Agosto de 1995.

La presente solicitud, se recibe en los términos y fundamentos señalados en el ACUERDO por el que se establecen los lineamientos para el uso del portal de Pagos y Servicios Electrónicos (PASE) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en los trámites que se indican (Diario Oficial de la Federación del 18 de marzo de 2016) con la fecha y hora referida, así como los datos señalados de la que se acusa recibo.

Cadena Original IMPI

FIRMA DE ACUSE:

10|MX/u/2016/000551|MX/E/2016/083914|23/11/2016 12:20:50|MX/E/2016/083914|pbuZnZdKjwJyZ|8F9t26oJO7|H|Servicio de Administración Tributaria|OCSP|x|CkpB73dhq|OBaXXT2Bx4DrA7gwm|23/11/2016 12:20:48|275106190557734483187066766810932582122005936185

Firma IMPI

UGRt174V7p58280*KfR U2E7Iqdo1TsR6UaW07VeJ9F0o6nak6yQOecOkDn5svQR0ZB2aoAuBI
LAPg/Ozsi.gjU|U9GopPCboz2SIV|QPhc7P5wVxR OZ MkwXOm+DU|CFR|L056GRK42WR2ang4XoJy
Z4t5eRR Mx6ZUP|R9ICQDXKHgO9Rb6kD|SSRK9qUJwwdwdZhyV|ilt+EalpfXO9LZPyJxp7GrXo
X21RCRU2VNuV3cLbmkpSKFvGN#4qWazGWV|TsmoZHQUs5uZxvMLC9ooGP+NUYiuDB2UG8SkS
NUGjoxqGkXEkE*+JsRaZaNPRW|WDiYQVP19Rjg==



REPRESENTACIÓN DE LA SOLICITUD DE REGISTRO DE MODELO DE UTILIDAD ENVIADA A TRAVÉS DEL PORTAL DE PAGOS Y SERVICIOS ELECTRÓNICOS.	
<input type="checkbox"/> Solicitud de Patente <input checked="" type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad Normal <input type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique cuál: <input type="checkbox"/> Modelo Industrial <input type="checkbox"/> Dibujo Industrial	Expediente: MX/2016/000551 Folio: MX/E/2016/083914 ID Solicitud: 34944 Fecha: 23/11/2016 12:20:50
I DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE (S)	
El solicitante es el inventor <input type="checkbox"/> El solicitante es causahabiente: <input checked="" type="checkbox"/>	
1) Nombre (s): FUNDICIÓN DE ALEACIONES ESPECIALES DE MÉXICO S.A. DE C.V.	
2) Nacionalidad (es): MEXICO	
3) Domicilio; calle, núm. Ext., núm. Int., colonia y código postal: AVENIDA PRIMERA, 602, , NAZARIO S ORTIZ GARZA C.P. 25100	
Población, Estado y País: SALTILLO, COAHUILA, MEXICO	
4) Teléfono: Ext.	5) Fax: e-mail: faesadecv@hotmail.com
II DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR (ES)	
6) Nombre (s): Horacio Humberto VILLARREAL MARQUEZ	
7) Nacionalidad (es): MEXICO	
8) Domicilio; calle, núm. Ext., núm. Int., colonia y código postal: AVENIDA PRIMERA, 602, , NAZARIO S ORTIZ GARZA C.P. 25100	
Población, Estado y País: SALTILLO, COAHUILA, MEXICO	
9) Teléfono: Ext.	10) Fax:
III DATOS DEL (DE LOS) APODERADO (S)	
11) Nombre (s): Ma. Elena MONTESINOS OCHOA	12) R G P:
13) Domicilio; calle, núm. Ext., núm. Int., colonia y código postal: AVENIDA PRIMERA, 602, NAZARIO ORTIZ GARZA C.P. 25100	
Población, Estado y País: SALTILLO, COAHUILA, MEXICO	
14) Teléfono: 1808999	15) Fax: e-mail: montesinosmemo@yahoo.com.
16) Personas Autorizadas para oír/recibir Notificaciones: Horacio Humberto VILLARREAL MARQUEZ	
17) Denominación o Título de la Invención: DISEÑO DE CUERPO DE VÁLVULA INDUSTRIAL DE CUATRO PULGADAS CON SISTEMA DE REEMPLAZO DE ASIENTO	
18) Fecha de divulgación previa:	
20) Divisiva de la solicitud	21) Fecha Presentación
Número	Figura Jurídica
22) Prioridad reclamada Sin reclamo de prioridad.	
País:	Fecha de Presentación: Número de Serie:
Observaciones:	
<p>Bajo protesta de decir verdad, el firmante manifiesta que los datos asentados en esta solicitud son ciertos y que en caso de actuar como mandatario, cuenta con facultades para llevar a cabo el presente trámite.</p> <p>Cadena Original Solicitante: BLY9yRiHF29t64FwVO9Mtzg=110jMa_Elena[MODELO DE UTILIDAD]4[DISEÑO DE CUERPO DE VÁLVULA INDUSTRIAL DE CUATRO PULGADAS CON SISTEMA DE REEMPLAZO DE ASIENTO]GrBmJyYL3nGfYjop1L33JKw6c=]</p> <p>Firma Solicitante o Mandatario Nombre: MA. ELENA MONTESINOS OCHOA 23/11/2016 12:20:50 04ROKohALxU/D7X3+DgRo3X7qPaM3pTeasB3E2RoZNPjvN2aVvYt1t59Necoh7auLFWiYJvnbxL g5mouCYQuogAB7z2CQrkKgr53jDB9yDfmlwxs8lEB3VWKFJy33ze780IgeScNDXCbTdvVCLy E4RQRDSiqsQTYYPf=</p> <p>Autoridad certificadora: Servicio de Administración Tributaria</p>	



FORMATO ELECTRÓNICO DE PAGOS POR SERVICIOS



NUMERO DE FOLIO
10029007571



PERIFÉRICO SUR 3106, COL JARDINES DEL PEDREGAL
DEL ALVARO OBREGÓN, CP 01900 MÉXICO, D.F.
RFC: IMP-931211-N

TRÁMITE EN LÍNEA: 34944

10029007571
REGIMEN GENERAL DE LEY PERSONAS MORALES / PERSONAS MORALES NO CONTRIBUYENTES TITULO III DE LA LEY DEL

CONCEPTO	CANTIDAD U. M.	ARTÍCULO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
CONCEPTO: Por la presentación de solicitudes de registro de modelos de utilidad o diseños industriales, así como por los servicios a que se refiere el artículo 38 de la Ley	1 Servicio	9a	\$1,081.07	\$1,081.07
50% DE DESCUENTO - MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA			TOTAL TARIFA	\$1,081.07
ANOTACIONES :			I.V.A	\$172.97
---			SUBTOTAL	\$1,254.04
---			ACTUALIZACION	\$0.00
---			RECARGOS	\$0.00
---			TOTAL A PAGAR	\$1,254.04

PAGO EN UNA SOLA EXHIBICION

Este documento no es un comprobante fiscal.
Su factura estará generada dentro de los tres días hábiles posteriores a su pago.
El formato de pago FEPS sin factura es válido para presentar el trámite que ampara ante el IMPI.
Si tiene algún problema para descargar su factura electrónica,
envíe los folios FEPS correspondientes a los siguientes correos electrónicos:

Rosario Sánchez Torres Patricio Santos Martínez Juan Reyes Sánchez
Tel. 56-24-04-00 ext. 11281 Tel. 56-24-04-00 ext. 11171 Tel. 56-24-04-00 ext. 11268
rosario.sanchez@impi.gob.mx patricio.santos@impi.gob.mx juan.reyes@impi.gob.mx

Hubo problemas al generar el sello electrónico

DATOS DEL TITULAR O SOLICITANTE
NOMBRE: Ma. Elena Montesinos Ochoa

DIRECCIÓN: Calle. Avenida Primera No.Ext. 602 No.Int. , Col. Nazario
Ortiz Garza, CP.25100, SALTILLO, COAHUILA, MX
RFC: MOOE631118PZ8

BANCO: Bancomer

CONVENIO: 976075
FECHA DE OPERACION: 23/11/2016 12:00:25
FOLIO: 9433700000000001810908

NE



EL CONTENIDO DE LA
PRESENTACIÓN DEL MODELO DE
UTILIDAD ES CONSIDERADA DE
CARÁCTER

CONFIDENCIAL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

PAQUETE TECNOLÓGICO INTEGRAL DEL PROYECTO:

***“DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE
PROTOTIPOS DE VÁLVULAS TIPO GLOBO EN
ACERO INOXIDABLE 316L Y ASIENTOS
POLIMÉRICOS”***

Se realiza la entrega del presente reporte en el marco del
convenio con la empresa **FUNDICIÓN DE ALEACIONES
ESPECIALES DE MÉXICO, S.A. DE C.V.**



1. Actividades de la integración del paquete tecnológico del proyecto:

Se participó con asesoría y seguimiento en conjunto con el personal de la empresa en las siguientes actividades:

1. Búsqueda y análisis de información relevante del estado actual de las tecnologías para la fabricación de válvulas globo en acero inoxidable 316L en libros, normas, patentes, catálogos, etc.
2. Adecuación de las instalaciones para las pruebas a nivel piloto de los procesos de inyección de cera, recubrimiento cerámico, fusión y vaciado.
3. Arranque y pruebas a nivel piloto de la fabricación de válvulas globo en acero inoxidable 316L, que incluye el proceso de inyección de cera, recubrimiento cerámico, fusión y vaciado.
4. Adquisición y adecuación de equipo de moldeo por transferencia en modo vertical e hidráulico, con sistema de control digital de parámetros.
5. Arranque y pruebas a nivel piloto de la fabricación de asientos de resina PFA para válvulas globo de 4", donde se realizará un análisis para optimizar los parámetros que intervienen en el proceso.
6. Caracterización detallada de los componentes que conforman el lote prototipo de válvulas globo fabricadas, donde se llevarán a cabo ensayos de análisis químicos, metalografías, análisis de dureza y microdureza, resistencia a la tensión y pruebas de impacto de temperatura controlada, a la vez que se realizará la valoración del desgaste acelerado, pruebas de corrosión acelerada en cámara salina, así como pruebas de ensayos no destructivos.
7. Integración del paquete tecnológico, donde se englobará la información del proyecto como son los estados de arte, información de la tecnología de los equipos, su funcionamiento, la caracterización de las piezas obtenidas, reportes de desempeño, así como todo documento que pudiera generarse de la realización de este proyecto.

2. Logro de metas respecto de metas comprometidas

Se asistió y dio seguimiento que la empresa alcanzara la cumplimentación de siguientes metas, correspondiendo al 100% de las comprometidas en la propuesta.

- Diseño y desarrollo de la tecnología para la fabricación por vaciado de precisión de válvulas globo en acero 316L.
- Diseño y desarrollo de la tecnología para la fabricación de asientos de resina polimérica PFA por el método de moldeo por transferencia.
- Validación de válvulas globo como producto final, que implica análisis químicos, pruebas de ensayos mecánicos, análisis metalográficos, pruebas de corrosión, ensayos no destructivos, determinación de desgaste acelerado, así como la validación con pruebas de hermeticidad e hidrostática.
- Desarrollo del paquete tecnológico con la integración de la tecnología de equipo, proceso y producto.
- Registro de patente del diseño y proceso de fabricación de la válvula globo prototipo.

De acuerdo con el convenio de colaboración con la empresa y la indicación enunciada por esta Institución, de que todos los trabajos realizados se llevaran a cabo con la participación del personal de la empresa y el personal de la Institución, a manera de que el personal adscrito a la empresa logrará asimilar las tecnologías durante el desarrollo de proyecto.

Se realizó una serie de actividades mismas que fueron documentadas para la integración del paquete tecnológico, presentándose algunas de ellas en los avances trimestrales que nos solicitó la empresa. En el presente documento se realiza la integración de toda la información en la que colaboró, asesoró, así como dio seguimiento la Universidad Autónoma de Coahuila, teniendo como consecuencia el logro de las metas antes enlistadas.

La Institución hizo entrega en tiempo y forma a la empresa de los reportes ejecutivos correspondiente, señalados de las actividades del punto 1. A juicio del personal de la Facultad de Ciencias Químicas y la Coordinación General de Vinculación de la Universidad Autónoma de Coahuila, se logró una excelente colaboración, esperando nuevamente tener la oportunidad de apoyar y fortalecer las actividades de Investigación de Desarrollo Tecnológico de la empresa Fundición de Aleaciones Especiales de México, S.A. de C.V.



CONTENIDO

ANÁLISIS DEL ESTADO DE ARTE DE FUSIÓN Y VACIADO DE VÁLVULAS GLOBO EN ACERO INOXIDABLE 316L.....	1
TECNOLOGÍA DE EQUIPOS DE INYECCIÓN DE CERA, RECUBRIMIENTO CERÁMICO, FUSIÓN Y VACIADO, ACONDICIONAMIENTO, MAQUINADO Y ENSAMBLE	34
TECNOLOGÍA DE PROCESO DE INYECCIÓN DE CERA, RECUBRIMIENTO CERÁMICO, FUSIÓN Y VACIADO, ACONDICIONAMIENTO, MAQUINADO Y ENSAMBLE	42
TECNOLOGÍA DE EQUIPO DE MOLDEO POR TRANSFERENCIA	74
TECNOLOGÍA DE PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE ASIENTOS PARA VÁLVULA GLOBO DE 4".....	81
TECNOLOGÍA DE PRODUCTO.....	90



ANÁLISIS DEL ESTADO DE ARTE DE FUSIÓN Y VACIADO DE VÁLVULAS GLOBO EN ACERO INOXIDABLE 316L

Introducción

Actualmente en la industria son ampliamente utilizadas válvulas de todos los tipos y materiales, una de las válvulas con alta demanda y poca oferta en el mercado nacional son las válvulas tipo globo. Las válvulas tipo globo se utilizan para manejar líquidos, gases y vapores, en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el procesamiento químico, desechos de aguas, procesamiento de petróleo y gas, pulpa y fabricación de papel, la industria de la energía, refinerías, procesamiento de alimentos y bebidas, así como en sistemas de protección contra incendios. Las válvulas tipo globo pueden ofrecer atractivos ahorros en los costos y los beneficios de explotación, en comparación con otras válvulas. Con capacidades de flujo altas, las válvulas tipo globo permiten el uso de unidades más pequeñas que reducen los costos, así como los requisitos de peso y espacio.

Selección de válvulas

Conforme avanza la tecnología y aumenta la capacidad de las plantas, han aumentado el tamaño y el costo de las válvulas y cada vez es más importante el máximo cuidado en su selección. La selección de las válvulas incluye muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en cuenta, como mínimo, las siguientes características básicas: tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, costo y disponibilidad [Greene 1999].

Tipo de válvula

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso. Estas funciones se deben determinar después de un estudio cuidadoso de las necesidades de la unidad y del sistema para los cuales se destina la válvula. Dado que hay diversos tipos de válvulas disponibles para cada función, también es necesario determinar las condiciones del servicio en que se emplearán las válvulas. Es de importancia primordial conocer las características químicas y físicas de los fluidos que se manejan. En resumen, se debe prestar atención a [Greene 1999]:

Función de la válvula

- Válvulas de cierre, que también se llaman válvulas de bloqueo.
- Válvulas de estrangulación.
- Válvulas de retención.

Tipo de servicio

- Gases.
- Líquidos con gases.
- Líquidos con sólidos.
- Gases con sólidos.
- Vapores generados instantáneamente por la reducción en la presión del sistema.
- Con corrosión o sin corrosión.
- Con erosión o sin erosión.

Una vez determinadas la función y el tipo de servicio, se puede seleccionar el tipo de válvula, a menudo hay más de un tipo de construcción apto para una función específica. Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de bloqueo o cierre son [Greene 1999]:

- **Válvulas de compuerta.** Resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.
- **Válvulas macho.** Cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.
- **Válvulas de bola.** No hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas. Cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.
- **Válvulas mariposa.** Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.

Las características principales y los usos más comunes para diversos tipos de válvulas para servicio de estrangulación son:

- **Válvulas de globo.** Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo; produce resistencia y caída de presión considerables.
- **Válvulas de aguja.** Estas válvulas son, básicamente, válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños por que el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.
- **Válvulas en Y.** Las válvulas en Y son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión en esta válvula que en la de globo convencional.
- **Válvulas de ángulo.** Son, en esencia, iguales que las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en la válvula de ángulo hace un giro de 90°.

Las válvulas que no permiten el flujo inverso (de retención) actúan en forma automática ante los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo. Hay disponible una selección especial de tipos de válvulas para manejar pastas aguadas gruesas o finas. Los tipos más comunes son en ángulo, fondo plano, macho, bola y diafragma y válvulas de opresión o compresión. Están diseñadas para mínima resistencia al flujo y, con frecuencia están revestidas con aleaciones especiales para darles resistencia a la corrosión o a la erosión.

Materiales de construcción

Después de establecer la función y de seleccionar el tipo de válvula, se deben tener en cuenta los materiales de construcción adecuados para el servicio a que se destinará la válvula. Todas las partes de la válvula que están en contacto con el fluido deben tener la resistencia necesaria a la corrosión. Para seleccionar materiales de construcción resistentes a la corrosión se debe utilizar como guía los materiales recomendados por los fabricantes para los diversos tipos de servicios así como los datos publicados. Sin embargo, los datos publicados no se deben considerar como definitivos para los materiales incluidos, por que otras condiciones en el servicio real pueden influir en la rapidez de la corrosión y se deben tener en cuenta. Por ejemplo, la presencia de sales disueltas, de contaminantes del proceso y de diferentes compuestos del proceso, aeración de los líquidos, altas velocidades de los fluidos, la presencia de abrasivos, la ocurrencia de cavitación o de vaporización instantánea, variaciones en las temperaturas y concentraciones, etc. El fluido que pasa por una válvula puede dañar el cuerpo y las guarniciones por erosión o por corrosión.

La corrosión química por halógenos puede ser muy severa; los cloruros, por ejemplo, atacan y penetran en la película protectora del acero inoxidable. También pueden ocurrir tres clases menos comunes de corrosión. La primera es la corrosión galvánica que puede ser seria cuando dos materiales desiguales están muy separados en la serie galvánica y está presente un electrólito fuerte. La corrosión intergranular ocurre en los límites de los granos de los aceros inoxidables austeníticos de la serie 300, cuando se calientan en la gama de 455 °C a 899 °C. En esta gama de temperatura, a la cual se llega con frecuencia durante el proceso de recocido, se precipita carburo de cromo en los límites entre los granos y hace que estas zonas sean susceptibles al ataque corrosivo. Los aceros inoxidables se pueden desensibilizar por calentamiento a 982 °C o más seguido por enfriamiento rápido por inmersión para evitar que se precipiten los carburos. La reducción del contenido de carbono de los aceros inoxidables permite soldarlos sin riesgo de precipitación de carburos. Otra clase de corrosión, las grietas por corrosión con esfuerzo ocurre, a veces, como resultado de esfuerzos residuales internos o de esfuerzos externos. El recocido elimina los esfuerzos producidos por la formación en frío o el enfriamiento por inmersión. Estos esfuerzos aplicados, igual que los

Capacidades de presión y de temperatura

Una vez determinadas las presiones y temperaturas máximas de operación, se podrá establecer la capacidad de presión requerida por la válvula.

Tabla 1. Válvulas disponibles en el mercado para industrias de procesos químicos (el tamaño de la válvula corresponde al diámetro nominal del tubo en pulgadas) [Greene 1999].

Válvulas de retención, de bisagra										
Capacidad de presión, Psi										
Material	125	150	175	200	250	300	400	500	900	1500
Acero inoxidable	---	½-24	---	¼-24	---	½-	24-	½-24	---	---
Hierro fundido	2-24	---	2½-12	---	2-12	---	---	---	---	---
Hierro dúctil	---	2-16	---	---	---	2-12	---	---	---	---
Bronce	¼-3	¼-4	---	¼-3	---	¼-3	¼-3	---	---	---
Acero fundido	---	2-24	---	---	---	2-20	4-16	½-16	3-10	1½-14
Válvulas de retención, disco inclinable										
Capacidad de presión, Psi										
Material	125	150	250	300	600	900	1500	2500	4500	
Hierro fundido	2-72	---	2-48	---	---	---	---	---	---	
Acero fundido	---	2-72	---	2-36	2-30	3-24	2-24	3-24	6-10	

Válvulas de retención, horizontales									
Capacidad de presión, Psi									
Material	125	150	200	300	600	900	1500	2500	
Acero inoxidable	---	---	---	---	1/4-2	---	---	---	
Hierro fundido	2-6	1/2-2	---	---	---	---	---	---	
Bronce	1/8-3	1/8-2	1/4-2	1/4-2	---	---	---	---	
Acero fundido	---	---	---	3-12	2 1/2-19	2 1/2-24	2 1/2-24	2 1/2-24	
Válvulas de mariposa									
Capacidad de presión, Psi									
Material	125	150	300						
Acero inoxidable	---	3-16	3-16						
Hierro fundido	---	2-24	---						
Hierro dúctil	---	2-24	---						
Acero fundido	---	3-30	3-16						
Válvulas de diafragma									
Capacidad de presión, Psi									
Material	125	150	175	200	300	400	600		
Acero inoxidable	---	2 1/2-4	1 1/2-2	1/2-1 1/4	---	---	---		
Hierro fundido	5-6	2 1/2-4	1 1/2-2	1/2-1 1/4	---	---	---		
Hierro dúctil	---	2 1/2-4	---	---	1 1/2-2	---	1/2-1 1/4		
Bronce	5-6	2 1/2-4	---	1 1/2-2	1/2-1 1/4	---	---		
Acero fundido	---	2 1/2-4	1 1/2-2	1/2-1 1/4	---	---	---		
Válvulas macho (no lubricadas)									
Capacidad de presión, Psi									
Material	150	300							
Acero inoxidable	1/4-12	1/4-12							
Hierro dúctil	1/4-12	1/4-12							
Hierro fundido	1/4-12	1/4-12							
Válvulas diversas									
Capacidad de presión, Psi									
Tipo de válvula	Material	150	300	600	900	1500	2500	4500	
Fondo plano	Acero inoxidable	1/2-10	1-10	---	---	---	---	---	
En Y	Acero inoxidable	1/2-2	1/2-6	1/2-10	---	---	---	---	
Globo	Acero inoxidable	---	---	---	---	1/4-2	1/4-2	1/4-1 1/2	
Aguja	Bronce	---	1/8-1/4	---	---	---	---	---	
Aguja	Acero forjado	---	---	---	---	1/4-2	1/4-2	1/4-1 1/2	
Retención	Acero fundido	---	3-12	2 1/2-18	2 1/2-24	2-24	2 1/2-24	---	
Purga	Acero forjado	---	1 1/2-2 1/2	1 1/2-2 1/2	1 1/2-2 1/2	1 1/2-2 1/2	---	---	

Material de empaque y juntas

La selección del material adecuado para empaques y juntas es tan importante como la de los materiales de la válvula para el servicio a que se destinan. La selección de un empaque inadecuado puede permitir fugas en la válvula y requerir un paro del sistema para reemplazarla. Además, si el fluido que se escapa es tóxico o inflamable, puede ocurrir una grave situación, con posibles lesiones al personal y daños a la planta. En la tabla 2 se enumeran ejemplos de los empaques para diversas aplicaciones y sus correspondientes límites de temperaturas. Al seleccionar el material (empaque) es preciso comprobar que el material seleccionado sea compatible con los fluidos que se manejan. Asimismo, la forma física del empaque debe ser compatible con las características mecánicas de la válvula. Ciertos materiales de empaques requieren una elevada compresión, pero hay válvulas que son muy endebles o muy ásperas y no se puede aplicar una gran compresión. Además, las elevadas compresiones requeridas por ciertas válvulas pueden hacer que algunos empaques fluyan en frío. Ciertos empaques incompatibles pueden producir desgaste del vástago [Greene 1999].

Costo y disponibilidad

Muchas veces se encontrará más de un tipo de válvula para un trabajo específico. Cuando todos los factores, como materiales de construcción, rendimiento, presión, temperatura y disponibilidad son iguales, se debe seleccionar la válvula de menor precio.

Tabla 2. Materiales de empaque para válvulas en servicio en diversos procesos [Greene 1999].

Material del empaque	Presentación	Uso	Temperatura
Flexible, metálico	Envoltura espiral. Listones delgados de hoja de babbit blando	Vástago de válvula	Hasta 232 °C
Empaques metálicos flexibles (aluminio)	Envoltura espiral. Listones delgados de hoja de aluminio anodizado flojas en torno a núcleo pequeño de asbesto puro y seco	Válvulas para aceite caliente, válvulas para difenilo	Hasta 538 °C
Empaques metálicos flexibles (cobre)	Hoja de cobre recocido floja en torno a un núcleo pequeño de asbesto puro y seco	Válvulas para aceite caliente, válvulas para difenilo	Hasta 538 °C
Asbesto puro de fibra larga y grafito lubricante fino (no metálico)	Grafito y aglutinante para asbesto de fibras largas	Gran elasticidad	Hasta 399 °C
Hilo de asbesto trenzado cerrado: camisa superior reforzada con alambre de Inconel, núcleo de asbesto de fibras largas	Carretes, anillos troquelados	Válvulas para alta temperatura	Hasta 649 °C
Hilo de asbesto puro con inserto de alambre de Inconel en torno a un núcleo elástico de asbesto impregnado con grafito	Carretes, anillos troquelados	Vástagos de válvula para aire, vapor, aceite mineral	Temperatura de estopero hasta 649 °C
Asbesto canadiense de fibras largas torcidas	Carretes, anillos troquelados	Válvulas para vapor a alta y baja presión	Hasta 260 °C
Asbesto, grafito y aglutinante a prueba de aceite	Carretes, anillos troquelados	Válvulas de cierre	---
TFE macizo, trenzado	Bobina, carrete, anillo	Eje de válvula para servicio muy corrosivo	---
Asbesto trenzado con impregnación completa con TFE	Bobina, carrete, anillo	Vástagos de válvulas en servicio con productos químicos o disolventes suaves	-73 °C a 316 °C
Asbesto trenzado con inserto de alambre de alta calidad sobre un núcleo flojo de grafito y asbesto	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas para vapor, aire, aceite mineral	Hasta 649 °C
Asbesto trenzado con inserto de alambre de alta calidad sobre un núcleo flojo de grafito y asbesto	Bobinas, carretes	Vástago de acero inoxidable de válvulas para aire, vapor, agua	Hasta 649 °C
Hilo de asbesto canadiense de fibras largas trenzado, con cada cabo impregnado con lubricante resistente al calor	Bobinas, carretes	Válvulas para vapor, aire, gases y productos químicos suaves	Hasta 288 °C
Hilo de asbesto canadiense de fibras largas, cada cabo tratado con aglutinante sintético a prueba de aceite e impregnado con grafito seco	Bobinas, carretes	Válvulas para refinerías	Hasta 399 °C
Asbesto blanco con trenzado y sobretrenzado con inserto de alambre impregnado con lubricante resistente al calor	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas para vapor, aire, gas y ácido cresílico	Hasta 399 °C
Hilo de asbesto blanco trenzado con suspensoide de TFE	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas	-73 °C a 316 °C
Trenzado de hilo multifilamento de TFE blanqueado	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas para líquidos muy corrosivos	-24 °C a 260 °C
Hilo multifilamento de TFE trenzado impregnado con suspensoide de TFE	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas para productos químicos, disolventes, gases corrosivos	-84 °C a 316 °C
Camisa de asbesto trenzada sobre núcleo plástico de asbesto, grafito y elastómeros	Bobinas, carretes	Vástagos de válvulas para vapor supercalentado, gases calientes	Hasta 454 °C

Normas de la industria

La industria manufacturera de válvulas es antigua y se encuentra tanto en Estados Unidos como en muchos otros países. El perfeccionamiento de la mayor parte de las válvulas en uso actual tuvo lugar desde hace décadas y, al igual que muchos otros productos manufacturados, se han establecido normas para asegurar la uniformidad entre los diversos fabricantes (Tabla 3).

Tabla 3. Normas y capacidades para válvulas [Greene 1999].

Normas ANSI	
816.1	Bridas y accesorios con brida para tubo de hierro fundido (25, 125, 200 y 250 lb)
816.5	Bridas para tubos de acero, válvulas y accesorios con bridas (150, 300, 400, 600, 900, 1500 y 2500 lb)
816.10	Dimensiones de cara a cara y de extremo a extremo de válvulas de material ferroso
816.11	Accesorios de acero forjado (soldadura de enchufe y roscados)
B21	Juntas no metálicas para bridas de tubo
831.3	Tubería para refinerías de petróleo

Expedidas por: American National Standards Institute 1430 Broadway New York, N. Y. 10018

Especificaciones API	
598	Inspección y pruebas de válvulas
600	Válvulas de compuerta, de acero
602	Válvulas de compuerta de acero al carbono, de diseño compacto para uso en refinerías
603	Válvulas de compuerta resistente a la corrosión, pared delgada de 150 lb para uso en refinerías
604	Válvulas de compuerta y macho con brida, de hierro nodular para uso en refinerías

Expedidas por: American Petroleum Institute 1801 K Street N. W. Washington, DC. 20006

Especificaciones ASTM	
E23	Pruebas de impacto de materiales metálicos con barra ranurada
E165	Inspección con líquido penetrante

Expedidas por: American Society for Testing and Materials 1916 Race Street Philadelphia, PA. 19103

Norma MSS	
SP25	Sistema estándar de marcas para válvulas, accesorios, bridas y uniones
SP42	Válvulas, bridas y accesorios con bridas fundidas, resistentes a la corrosión MSS 150 lb
SP53	Norma de calidad para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías
SP54	Norma de calidad radiográfica para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías
SP55	Norma de calidad para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías
SP61	Pruebas hidrostáticas de válvulas de acero
SP67	Válvulas mariposa
SP72	Válvulas de bola con extremos con brida o soldados a tope para servicio general

Expedidas por: Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry 1815 N Ft. Myer Drive Arlington, VA. 22209

Para especificar válvulas, se acostumbra mencionar que deben cumplir con los requisitos de materiales, diseño, manufactura y pruebas de inspección de una norma determinada. Esto asegura cierta calidad dentro de la uniformidad establecida por la industria. Sin embargo, es posible obtener una calidad mejor que la incluida en la norma. Se pueden utilizar piezas forjadas en vez de fundidas y los componentes pueden ser más resistentes. La calidad se relaciona con las características que deben ofrecer los fabricantes y todos deben cumplir con las normas mínimas.

Aplicación de las válvulas en la industria

En términos generales, sin involucrar características físicas, ventajas, limitantes o la función que desempeñe, una válvula es un dispositivo mecánico que permite controlar el flujo de los fluidos en fase líquida o gaseosa que se conducen o manejan por medio de tuberías de origen a un punto final. Pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una gran serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Hay diferentes tipos de válvulas, según el material o diseño. Sus tamaños pueden variar desde unas 2" hasta 72" de diámetro. Pueden también trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 140 MPa y temperaturas que van desde las criogénicas hasta más de 800 °C. En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto, mientras que, en otras, existe cierta tolerancia al escurrimiento [Rodríguez 2011]. En particular para la industria petrolera, las válvulas representan una parte considerable en la inversión total, ya sea si se está construyendo o ampliando una línea de conducción, estación de bombeo, estación de compresión o bien en plantas industriales. La importancia que representan las válvulas en el sistema de transporte de hidrocarburos, queda definida por el hecho que es considerada como uno de los componentes más destacados dentro de las instalaciones; debido a que frecuentemente los productos transportados son tóxicos y altamente inflamables [INLAC 2013]. En producción y transporte de hidrocarburos, los líquidos y gases, están definidos por complejas composiciones químicas en ocasiones abrasivas, y las condiciones de flujo que los rige, van acompañadas de una fuerte variación de presión y temperatura, así como de sólidos arrastrados

por el flujo, generando un ambiente con altos grados de erosión y corrosión. Por esta razón, las válvulas deben cumplir con ciertos objetivos generales con los cuales cubrirán cualquier necesidad operativa de flujo; las funciones que norman el perfil fundamental de operación son las siguientes: inicio y paro del flujo, estrangulamiento, prevención de contraflujo, regulación y alivio de presión [Rodríguez 2011]. En otras palabras, las válvulas son los componentes en un flujo o sistema de presión que regulan el flujo o la presión del fluido [Seong 2008]. Ésta obligación puede implicar: iniciar y detener el flujo, controlar el caudal, desviar el flujo, controlar la presión, entre otras, incluyendo las características hidrodinámicas [Ogawa 1995, Park 2006] y aerodinámicas [Danbon 2000]. La selección de cualquier tipo de válvula se basa en el funcionamiento, la capacidad de los materiales, el diseño de presión/temperatura, el peso, la disponibilidad, el mantenimiento y los costos. Hay una gran cantidad de tipos de válvulas con sus respectivas variantes, lo mismo que una gran cantidad de dimensiones. Además, encuentran su aplicación en el procesamiento químico, desechos de aguas, procesamiento de petróleo y gas, pulpa y fabricación de papel, industria de la energía, refinerías, procesamiento de alimentos y bebidas, así como en sistemas de protección contra incendios [Patente JP63140182-A 1988]. Las válvulas pueden clasificarse de diversas formas. Según *Warring* [Warring 1999, Coz 1995], las válvulas se pueden clasificar por su tipo general, por su función o por sus características de flujo [Blodgett 1991]. Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales. La clasificación de las válvulas de acuerdo a su tipo general está referida al modo de funcionamiento de las mismas. Dentro de esta clasificación se tienen válvulas como la esférica, compuerta, mariposa y otras más. Es importante mencionar que para realizar el diseño de una válvula, por ejemplo la válvula mariposa existen diversas normas internacionales entre las que destacan las de la American Water Works Association (AWWA por sus siglas en inglés). En particular, la norma AWWA C504-06 titulada Rubber-Seated Butterfly valves [AWWS 2006] la cual muestra recomendaciones generales para el diseño de válvulas mariposa y el manual AWWA M49 titulado Butterfly Valves: Torque, Head Loss and Cavitation Analysis [AWWS 2001] el cual muestra recomendaciones para el cálculo del torque de accionamiento de la válvula, mientras que para el diseño de los componentes se utilizan métodos analíticos basados en los conceptos de resistencia de materiales y elementos de máquinas. También puede utilizarse como válvula de control o como válvula de admisión. Una válvula de control permite obtener un determinado caudal dependiendo de la posición relativa del disco. En cambio, una válvula de admisión sólo permite o corta el suministro del fluido sin operar el disco en posiciones intermedias. Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

Parte motriz o actuador

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser los más sencillos y de rápida actuación. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la Figura 1. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que por cada valor de la presión recibida por la válvula le corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbs/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

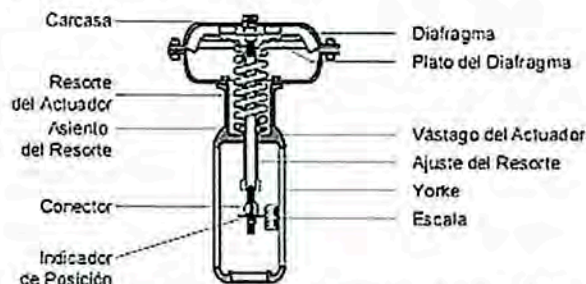


Figura 1. Actuador de una válvula de control [Paredes 2014].

Cuerpo de la válvula

Este está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

Las válvulas son utilizadas en muchas aplicaciones, sin embargo, las vaciadas en acero se ven limitadas cuando se necesita resistencia a la corrosión a elevadas temperaturas, se tienen que emplear válvulas fabricadas de superaleaciones, lo que aumenta su costo, por lo que la solución más factible es revestir el cuerpo de las válvulas con materiales no metálicos que soporten las condiciones mencionadas.

El revestimiento realiza varias funciones importantes, entre las que se encuentran servir de asiento, formando un sello alrededor de casi todo el perímetro del obturador, lo que ayuda a prevenir fugas, a la vez que evita el desgaste del cuerpo por el rose metal-metal. Otra cuestión a considerar es que protege el cuerpo de la válvula del fluido y permite la selección de materiales de cuerpo basándose únicamente en fuerza y precio, sin preocupación por la erosión, la abrasión y la resistencia a la corrosión [Patente C2012F05777 2011]. Muchos materiales están disponibles para la fabricación de asientos, entre ellos se encuentran los polímeros fluorados que constituyen una familia de materiales de gran estabilidad térmica y química, elevada rigidez dieléctrica y coeficientes de fricción excepcionales. Propiedades que los hacen de un gran interés para aplicaciones industriales y muy especialmente en la lucha contra la corrosión. El más conocido de esta familia es el politetrafluoretileno (PTFE), comúnmente conocido como teflón, nombre comercial registrado por DuPont, compañía que lo sintetizó en el año de 1943. Derivado de ésta resina existen diferentes copolímeros, entre los cuales se encuentra el perfluoroalcoxi (PFA). El perfluoroalcoxi PFA es un copolímero de tetrafluoretileno (TFE) y perfluoropropil vinil éter (PPVE) el cual presenta propiedades similares al politetrafluoretileno (PTFE), aunque presenta la ventaja de poseer protección a la corrosión a temperaturas críticas. Este polímero es semicristalino y el grado de cristalinidad depende de las condiciones de fabricación. Las propiedades generales del perfluoroalcoxi PFA se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades del perfluoroalcoxi (PFA).

Propiedad	ASTM	Unidades	PFA
Gravedad específica	D972	g/cm ³	---
Temperatura de fundido	D2116	°C	---
Coefficiente de expansión lineal térmica	E831	1/Kx10 ⁻³	---
Calor específico	---	KJ/Kg/K	---
Conductividad térmica	D696	W/K m	---
Flamabilidad	UL94	---	---
Dureza Shore D	D2240	---	55-60
Coefficiente de fricción (acero)	---	---	0.2

Como el perfluoroalcoxi PFA es un fluoropolímero procesable en estado fundido, puede ser conformado por los métodos tradicionales de procesamiento de la mayoría de los plásticos y es ampliamente procesado por moldeo por inyección, extrusión, recubrimiento en polvo, moldeo por compresión, moldeo por transferencia y otras técnicas de moldeo. Como regla general el perfluoroalcoxi PFA es fácil de procesar debido a su alta estabilidad térmica. Las propiedades del polímero no se ven afectadas por largos tiempos de residencia, pero como con la mayoría de los fluoropolímeros, el procesamiento requiere altas temperaturas para fundir la resina y la maquinaria de procesamiento utilizada debe ser adecuada para altas temperaturas de fusión y altas viscosidades [Patente US4266752-A 1981]. La resina de perfluoroalcoxi PFA es utilizada en aislamiento eléctrico de alta temperatura y en componentes y partes que requieren larga vida y flexibilidad. Entre las aplicaciones típicas se encuentra el encamisado de cables de conexión de red y cables de comunicación. Ciertos grados de perfluoroalcoxi PFA se utilizan en la industria química para equipos de proceso, trazadores de líneas, tubos especializados y artículos moldeados. Otras aplicaciones son fuelles y juntas de dilatación, revestimiento de válvulas, tuberías, bombas y accesorios. Su capacidad de trabajo permite ofrecer piezas para válvulas de buena montura y sin temor a picaduras por corrosión, a la vez que son utilizados en ambientes corrosivos e incluso en el procesamiento de alimentos, ya que es incoloro y no necesita aditivos o pigmentos. El perfluoroalcoxi PFA tiene una resistencia química excelente, incluso a temperaturas elevadas. Se resiste a los ácidos fuertes, bases minerales inorgánicas y agentes oxidantes inorgánicos, y la mayoría de los compuestos orgánicos y sus mezclas comunes en la industria química. Sin embargo, reaccionan con el flúor y álcali fundido. La absorción de agua y disolventes en perfluoroalcoxi PFA es en general muy bajo. La permeabilidad está estrechamente relacionada con la absorción y depende de la temperatura, la presión y el grado de cristalinidad. Dado que ésta resina es procesable en estado fundido, por lo general se encuentra libre de huecos y por lo tanto presenta menor permeabilidad que el politetrafluoroetileno (PTFE). El politetrafluoroetileno (PTFE) es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos flúor. La fórmula química del monómero, tetrafluoroeteno, es CF₂=CF₂. Bajo el nombre de teflón la multinacional DuPont comercializa este y otros cuatro polímeros de semejante estructura molecular y propiedades. Entre ellos están la resina perfluoroalcoxi (PFA) y el copolímero propileno etileno fluorado (FEP), llamados PFA Y FEP respectivamente. Tanto el PFA como el FEP comparten las propiedades características del politetrafluoroetileno (PTFE), ofreciendo una mayor facilidad de manipulación en su aplicación industrial [ELAPLAS 2014]. La virtud principal de este material es que es prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales. Esto se debe básicamente a la protección de los átomos de flúor sobre la cadena carbonada. Esta carencia de reactividad hace que su toxicidad sea prácticamente nula y es, de hecho, el material con el coeficiente de rozamiento más bajo conocido. Otra cualidad característica es su impermeabilidad, manteniendo además sus cualidades en ambientes húmedos. Es también un gran aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde -270°C hasta 300 °C. Su cualidad más conocida es la anti adherencia. Uno de los primeros usos que se dio a este material fue en el Proyecto

Manhattan como recubrimiento de válvulas y como sellador en tubos que contenían hexafluoruro de Uranio (material altamente radioactivo) [ELAPLAS 2014]. El politetrafluoroetileno (PTFE) tiene múltiples aplicaciones, aunque no se le dio salida en un principio (no se empezó a vender hasta 1946). Algunas de ellas se citan a continuación:

- En revestimientos de aviones, cohetes y naves espaciales debido a las grandes diferencias de temperatura que es capaz de soportar.
- En la industria se emplea en elementos articulados, ya que su capacidad antifricción permite eliminar el uso de lubricantes como el Krytox.
- En medicina, aprovechando que no reacciona con sustancias o tejidos y es flexible y antiadherente se utiliza para prótesis, creación de tejidos artificiales y vasos sanguíneos, e incluso operaciones estéticas (body piercing).
- En electrónica, como revestimiento de cables o dieléctrico de condensadores por su gran capacidad aislante y resistencia a la temperatura. Los capacitores o condensadores con dieléctrico de politetrafluoroetileno (PTFE) se utilizan en equipos amplificadores de sonido de alta calidad. Son los que producen menores distorsiones de audiofrecuencias. Un poco menos eficientes, les siguen los de poliéster metalizado (MKP).
- En utensilios de cocina, como sartenes y ollas por su capacidad de rozamiento baja, así son fáciles de limpiar y mantiene un grado menor de toxicidad.
- En pinturas y barnices.
- En estructuras y elementos sometidos a ambientes corrosivos, así como en mangueras y conductos por los que circulan productos químicos.
- Como recubrimiento de balas perforantes. El politetrafluoroetileno (PTFE) no tiene efecto en la perforación del misil, sino que reduce el rozamiento en el interior del arma para disminuir su desgaste.

Tabla 5. Propiedades físicas del politetrafluoroetileno (PTFE) [ELAPLAS 2014].

Propiedades	Métodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color			Blanco
Densidad	ASTM D1457	g/cm ³	2.18
Dureza Shore	ASTM D2240	D	51
Propiedades térmicas			
Temperatura de fusión	DIN 53736	°C	327
Conductividad térmica a 23 °C	---	W/(K-m)	0.25
Coefficiente de dilatación lineal	---	-	-
Valor medio entre 25 y 95 °C	ASTM D696	1/°CV*10 ⁻⁵	12.2
Temperatura de transición vítrea	DIN 53 736	°C	-20
Capacidad calórica específica a 23 °C	---	J(g.k)	1
Temperatura máxima de servicio	---	-	-
-en periodos cortos	---	°C	260
-en periodos largos	---	°C	260
Coefficiente de dilatación lineal 23 °C	---	10 ⁻⁵ .1k	12
Propiedades mecánicas a 23 °C			
Alargamiento	ASTM D1457	MPa	68
Esfuerzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	25
Alargamiento a la rotura	DIN 53 455		500
Ensayo de compresión	---		44
-esfuerzo al 0.2/1% de deformación	---	MPa	77/314
Resistencia al impacto	DIN 53 453	Kj/m ²	No rompe
Resistencia al impacto Izod	180/2A	Kg cm/cm	15.4
Dureza de bola (30s)	DIN53 457	MPa	30
Propiedades eléctricas a 23 °C			
Resistencia dieléctrica	DIN 53 481	ohm	48
Resistividad volumétrica	ASTM D 257	Ω-cm	10 ⁻¹⁸
Factor de disipación	DIN 53 483	---	0.0002
Resistencia específica de paso	DIN 53 483	---	1018
Resistencia a corrientes parasitas	DIN 53 480	---	KA 3c
---	VDE 0303 TI	---	KB>600

En la actualidad la fabricación de válvulas en México es un campo muy limitado, lo que representa un área de oportunidades. Las válvulas que se fabrican en México en la actualidad suelen ser utilizadas en procesos simples o ambientales comunes, por lo que para procesos específicos se vuelve necesaria la importación del extranjero. El interés

de los inversionistas mexicanos en válvulas se encuentra en aumento, pero la gran cantidad de demanda da como resultado que la mayoría de las válvulas que se están utilizando en procesos industriales sean adquiridas por medio de casas comercializadoras que se dedican a la importación, lo que aumenta los costos por artículo. En un estudio realizado por PEMEX y el Instituto de Formación, Evaluación y Desarrollo INLAC S. C. [INLAC 2013], se señala que, de los diferentes tipos de válvulas fabricadas en México, el 1% corresponde a válvulas globo (Figura 8), lo que incentiva la producción de estas. La gráfica muestra que, de acuerdo a la información proporcionada por las empresas, el tipo de válvulas que más fabrican son; compuerta API 6A, API 600, API 602 y API 6D, y las que menos se fabrican son las de globo, bola trunnion y macho lubricado. Asociado con la producción de válvulas globo en México, se encontró que el Grado de Integración Nacional (GIN) de este tipo de válvulas corresponde al 52%, lo que indica un déficit en su producción. En la gráfica se muestra el GIN declarado por las empresas encuestadas, el cual indica que solo cuatro tipos de válvulas tienen un GIN por encima del 60%. Lo anterior indica la necesidad de aumentar el contenido nacional. El estudio también muestra que en el caso de las válvulas globo, la mayoría de los insumos para la fabricación de componentes de dichas válvulas son importados de países como Estados Unidos, Taiwán, India y Japón, a la vez que muestra que esto es debido principalmente a los tiempos de entrega, los costos, la calidad, así como debido a que no existe oferta en México.

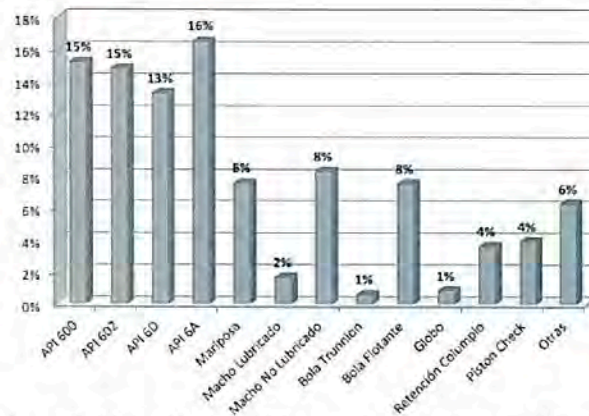


Figura 8. Porcentos de fabricación de los diferentes tipos de válvulas en México [INLAC 2013].

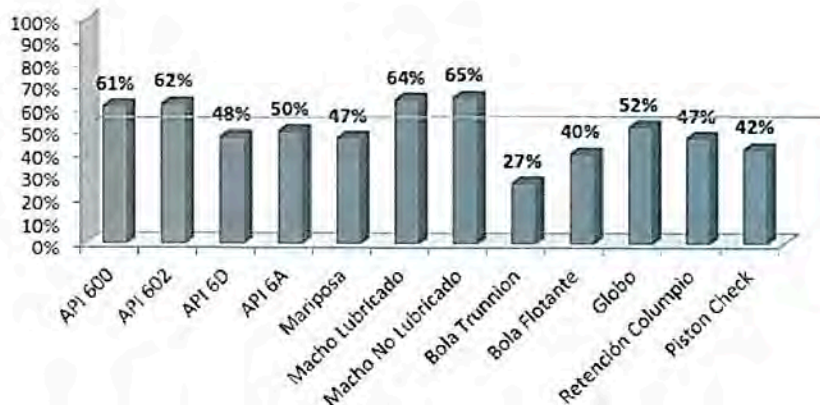


Figura 9. Grado de Integración Nacional (GIN) por tipo de válvulas en México [INLAC 2013].

Moldeo por transferencia

En este proceso se carga un termofijo (preformado) en una cámara inmediata a la cavidad del molde, donde se calienta; se aplica entonces presión para forzar al polímero suavizado a fluir dentro del molde caliente, donde el polímero se cura. Los dos variantes de este proceso se ilustran en la Figura 10. (a) Moldeo con recipiente de transferencia, en el cual la carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad; y (b) Moldeo con émbolo de transferencia, en el cual se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de los canales laterales. En ambos casos se produce material de desperdicio en cada ciclo por la pieza desechada que se queda en la base del depósito y en los canales laterales (que en inglés se denominan cull). Además, el vertedero del recipiente de transferencia es también material de desecho. Este desecho no puede recuperarse debido a que los polímeros son termofijos. El moldeo por transferencia está relacionado estrechamente con el moldeo por compresión, debido a que utiliza el mismo tipo de polímeros (termofijos y elastómeros). Existen similitudes con el moldeo por inyección, ya que la carga se precalienta en una cámara separada, y luego se inyecta en el molde. En el moldeo por transferencia se pueden moldear formas de partes más intrincadas que en el moldeo por compresión, pero no tan intrincadas como las del moldeo por inyección. El moldeo por transferencia también se presta para usar insertos de metal o de cerámica que se colocan en la cavidad antes de la inyección, el plástico calentado se adhiere al inserto durante el moldeo.

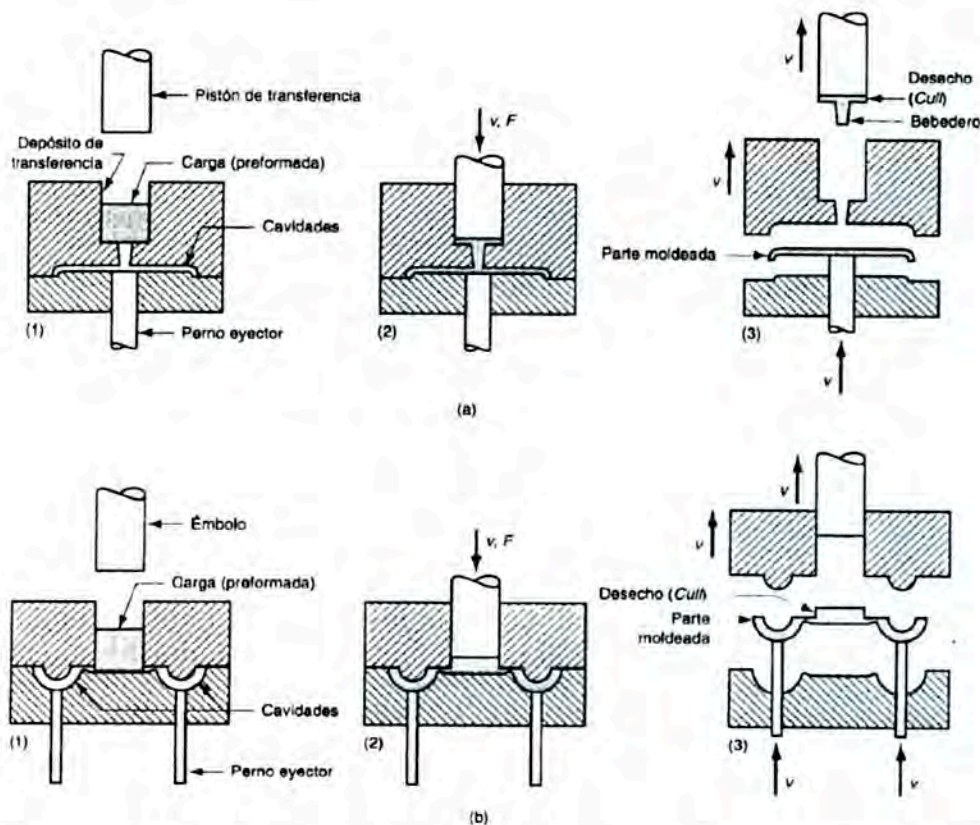


Figura 10. (a) Moldeo con depósito de transferencia y (b) Moldeo con émbolo de transferencia. El ciclo en ambos procesos es: (1) se coloca la carga en el depósito, (2) el polímero ablandado se prensa en la cavidad M molde y se cura y (3) se expulsa la parte moldeada.

Aceros inoxidables

Generalidades

Los aceros inoxidables se eligen como materiales de ingeniería principalmente por su excelente resistencia a la corrosión en muchos ambientes. La resistencia de los aceros inoxidables a la corrosión se debe a su alto contenido de Cromo (10 a 30%). El Cromo es un metal muy reactivo y se combina con el Oxígeno del aire o en cualquier otra condición oxidante para formar una película sobre el acero inoxidable que lo aísla del medio agresivo. Se cree, que la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables es el resultado de la presencia de esta fina, densa (no porosa), continua, insoluble, adherente, tenaz, autoregenerante e impermeable capa de óxido hidratado de Cromo en la superficie de estos aceros que impide, una vez formada ésta, el contacto del acero con el medio oxidante. La composición de ésta película varía con el tipo de acero y con los diferentes tratamientos tales como laminado, decapado (pickling) o tratamiento térmico. A esta situación se le denomina pasivación y la película formada es inerte frente a las condiciones oxidantes de la atmósfera terrestre. Esta película es transparente y brillante y confiere al acero inoxidable la habilidad de retener su apariencia "inmaculada" (stainless en inglés), agradable a la vista. El rango de condiciones bajo las cuales un acero inoxidable desarrolla pasivación puede ser amplio o reducido, la pasividad puede ser destruida por pequeños cambios de las condiciones. En condiciones favorables a la pasivación el material adquiere potenciales de disolución cercanos al de los metales nobles. Cuando la pasividad se destruye el potencial se acerca al del hierro.

Hay un número importante de distintos aceros inoxidables. Su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas y costo varía en un rango muy amplio, por esa razón es importante especificar el acero inoxidable más apropiado para una dada aplicación. El costo se eleva entre cinco y diez veces al de un acero al carbono. El término inoxidable involucra según la UNS a más de 130 composiciones químicas diferentes de aceros y/o aleaciones inoxidables. Los aceros inoxidables son aleaciones complejas en las que intervienen un buen número de elementos químicos, algunos de ellos básicos (Hierro, Carbono y Cromo) y otros añadidos (Cobre, Aluminio, Silicio, Níquel, Molibdeno, Titanio y Niobio), que también aumentan su resistencia a la corrosión directa o indirectamente en condiciones específicas. Aun cuando la resistencia a la corrosión es la propiedad más apreciada de los aceros inoxidables no se deben dejar de lado otras propiedades. Algunos aceros se autotemplan, otros no requieren temple, resisten las altas temperaturas, se mecanizan con facilidad, tienen capacidad de deformarse plásticamente o son soldables. Su aplicación se extiende desde usos arquitectónicos hasta la utilización en equipos de la industria química bajo condiciones extremas de servicio.

A medida que aumenta el riesgo de corrosión es necesario aumentar la concentración de Cromo aunque el aumento de la resistencia a la corrosión no tiene que ser proporcional. Sin embargo con alrededor de 18% de Cromo el acero está en condiciones de soportar las más rigurosas condiciones atmosféricas (el acero 18-8, AISI 304 o UNS S30400 con 18% de Cromo y 8% de Níquel es capaz de soportar tales condiciones). Los aceros inoxidables no son atacados por el ácido nítrico u otros ácidos oxidantes, sino más bien estos ácidos facilitan la formación de la película protectora. Por otra parte estos aceros no resisten la presencia de ácidos reductores como el ácido clorhídrico o fluorhídrico, y son atacados por sus sales (cloruros, bromuros y yoduros). El ácido sulfúrico marca la frontera entre ácidos oxidantes y reductores ya que en algunos casos es inofensivo y en otros ataca fuertemente. El efecto de los ácidos como el de las sales varía con las condiciones de servicio, concentración del agente corrosivo y con el tipo de acero [Laufgang 2003].

Designación de los aceros inoxidables

En el pasado, las designaciones de los aceros inoxidables se formularon bajo los lineamientos de la American Iron and Steel Institute (AISI). Recientemente, cuando la AISI fue reemplazada por el Specialty Steel Institute of North America (SSINA), esas designaciones fueron sustituidas por el código Unified Numbering System (UNS) formulado conjuntamente por la Society of Automotive Engineers (SAE) y por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Debido a que los metales puros presentan propiedades mecánicas pobres, rara vez tienen aplicaciones industriales, sin embargo se ha desarrollado una gama muy amplia de aleaciones con propiedades específicas, adecuadas para aplicaciones industriales particulares (Figura 11).

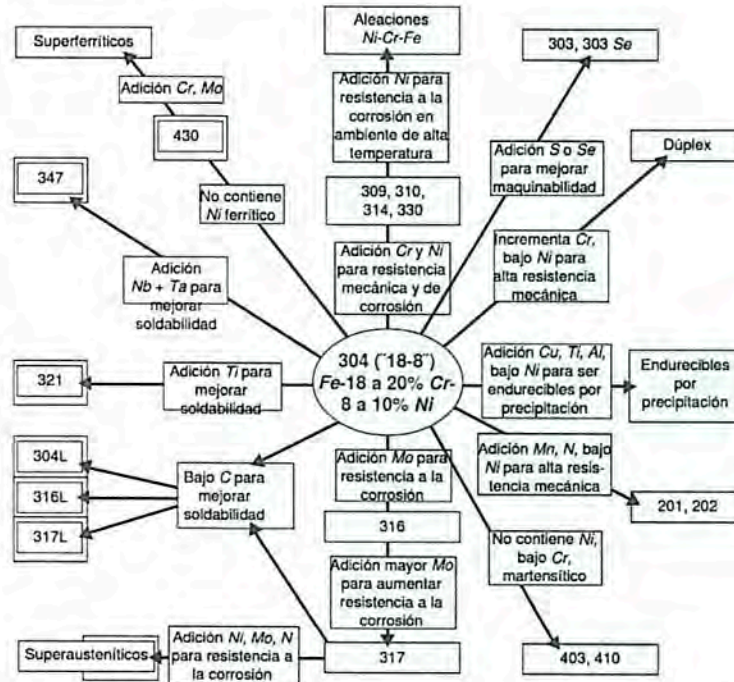
Clasificación de los aceros inoxidables según la Norma AISI

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco diferentes familias; cuatro de éstas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: Ferrita, Austenita, Martensita, dúplex (Austenita más Ferrita); mientras que la quinta familia son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina. En la Tabla 6 se presentan las cinco grandes familias de los aceros inoxidables así como su clasificación según la AISI.

Tabla 6. Clasificación de los aceros inoxidables [CENDI 2014].

Clase	Clasificación AISI	Ejemplos de especificaciones
I Martensíticos	SERIE 400	410, 420, 431
II Ferríticos		409, 430, 434
III Austeníticos	SERIES 200 y 300	304, 304L, 321, 316
IV Dúplex	Se usa el nombre comercial	329, 2205
V Endurecibles por precipitación		17-4 PH, 15-5 PH, 17-7 PH, 15-7 MO

Dentro de la familia de los aceros inoxidable con sólo Cromo (serie 400) se pueden encontrar dos grupos, los aceros Ferríticos y los Martensíticos. El acero inoxidable más simple contiene Hierro y Cromo. La Figura 12 muestra el diagrama de equilibrio estable Fe-Cr. un hecho interesante del diagrama es que las aleaciones con más de 12.7% de Cromo, tienen la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del hierro α desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión. Al no atravesar durante el calentamiento el campo austenítico, con estructura cristalina cúbica centrada en las caras del hierro γ , no pueden austenizarse y templarse para formar Martensita. Los aceros inoxidables al Cromo con contenidos de alrededor del 12% de Cromo o más son llamados aceros inoxidables Ferríticos.



Ni-Níquel Cr-Cromo Fe-Hierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre S-Azufre Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno Mn-Manganeso N-Nitrógeno

Figura 11. Relaciones de composición y propiedades de los aceros inoxidables [CENDI 2014].

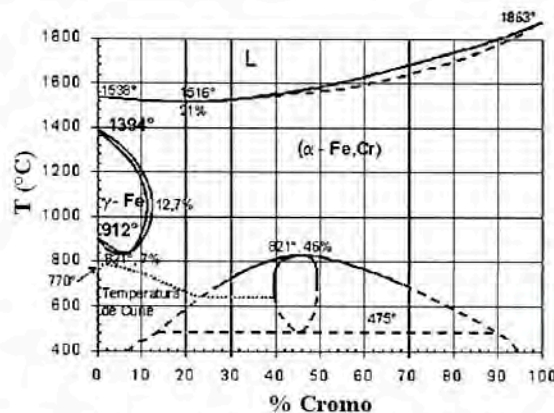


Figura 12. Diagrama de fases Fe-Cr [INDURA 2010].

En la Figura 13 se observa que el bucle γ se expande a la derecha debido al aumento del contenido de Carbono. De esta manera se pueden distinguir aleaciones hasta con un 17% de Cromo, que a su vez pueden austenizarse y templarse aun

con bajas velocidades de enfriamiento para obtener Martensita. Este grupo de aceros inoxidable se denominan martensíticos y además del Cromo deben poseer Carbono, con el doble propósito de: desplazar a la derecha el campo de estabilidad del hierro γ para poder austenizar y por lo tanto templar y obtener Martensita y obtener dureza, algo que depende del contenido de Carbono de la Martensita. Ambos grupos son magnéticos lo que los hace fácilmente identificables de los muy populares aceros inoxidables austeníticos (serie 300).

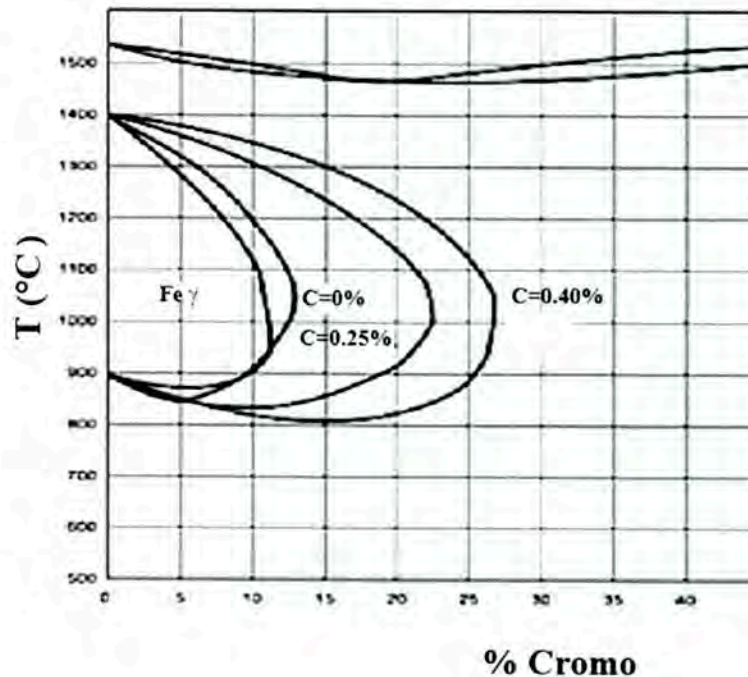


Figura 13. Influencia del contenido de Carbono en el bucle γ [INDURA 2010].

Influencia de los elementos de aleación

En los aceros inoxidables el efecto de los elementos aleantes es importante, y se puede diferenciar la influencia sobre los aceros inoxidables no endurecibles por tratamiento térmico (Ferríticos, Austeníticos y Austeno-Ferríticos) y los endurecibles por tratamiento térmico (Martensíticos y endurecibles por precipitación). El efecto de los principales elementos aleantes de los aceros inoxidables se describe a continuación:

Cromo: Es el elemento básico de aleación de los aceros inoxidables. A partir de un porcentaje del 10.5-13% le confiere a este tipo de aceros la propiedad de inoxidables. Además, previene la formación de óxido y confiere resistencia a la corrosión. Forma carburos tipo $M_{23}C_6$.

Níquel: En general aumenta la ductilidad, tenacidad y resistencia a la corrosión en ambiente ácido. Sin embargo, la razón principal de su adición en los aceros inoxidables es que es un elemento gammágeno, es decir, que promueve la estructura austenítica. En los inoxidables endurecibles por precipitación, forma compuestos intermetálicos que aumentan la resistencia mecánica.

Molibdeno: Incrementa la resistencia a la corrosión general y localizada, incrementa la resistencia mecánica y es fuertemente alfaégeno. En los inoxidables endurecibles forma fases secundarias, mientras que en los martensíticos aumenta la dureza a elevadas temperaturas por precipitación de carburos. Proporciona una alta resistencia, dureza y durabilidad. Mejora la resistencia mecánica por solución sólida. Forma carburos tipo M_6C .

Cobre: Aumenta la resistencia a la corrosión en ambientes ácidos y es un elemento gammágeno. En los inoxidables endurecibles por precipitación forma fases intermetálicas que aumentan la resistencia.

Manganeso: Aumenta la ductilidad en caliente. Su carácter alfaégeno/gammaégeno varía con la temperatura. Es formador de Ferrita a alta temperatura, especialmente en porcentajes altos, y a baja temperatura es un gran estabilizador de la Austenita. Además incrementa la solubilidad del Nitrógeno, por lo que se usa para obtener inoxidables Austeníticos con altos contenidos de Nitrógeno.

Silicio: Es un elemento alfaégeno, incrementa la resistencia a la corrosión, a altas y bajas temperaturas, en ambientes fuertemente oxidantes.

Carbono: En los inoxidables Ferríticos disminuye la tenacidad y la resistencia a la corrosión. En los Austeno-Martensíticos y Martensíticos aumenta la resistencia mecánica y la dureza, disminuyendo la tenacidad. Es un elemento energicamente gammaégeno. Mejora la resistencia mecánica mediante la formación de los carburos MC, M_7C_3 , $M_{23}C_6$ y posiblemente el M_6C .

Nitrógeno: De forma similar al Carbono, en los inoxidables Ferríticos disminuye la tenacidad y la resistencia a la corrosión. En los Austeno-Martensíticos aumenta la resistencia mecánica y la dureza, disminuyendo la tenacidad. En combinación con el Molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión localizada. Es un elemento fuertemente gammaégeno.

Titanio: Es un elemento fuertemente alfaégeno. Tiene una gran tendencia a formar carburos, con lo que disminuye el Carbono efectivo presente, facilitando la estructura Ferrítica. En los Austeníticos estabiliza y aumenta la resistencia a la corrosión intergranular y las propiedades mecánicas a altas temperaturas. En los Ferríticos mejora la tenacidad y la resistencia a la corrosión. En los martensíticos disminuye la dureza de la Martensita e incrementa la resistencia al temple. Y en los endurecibles por precipitación forma compuestos intermetálicos que aumentan la resistencia mecánica.

Niobio: Como el Titanio, es un elemento fuertemente alfaégeno y tiene gran tendencia a formar carburos. También se añade para prevenir la corrosión intergranular y aumentar la resistencia mecánica a elevadas temperaturas, y en los Martensíticos disminuye la dureza y aumenta la resistencia al temple.

Aluminio: En una cantidad sustancial mejora la resistencia a la oxidación. En los endurecibles por precipitación forma compuestos intermetálicos que aumentan la resistencia.

Cobalto: En los inoxidables Martensíticos aumenta la dureza y mejora la templabilidad, especialmente a elevadas temperaturas.

Vanadio: Es un elemento alfaégeno, pero sólo suele emplearse en los inoxidables endurecibles. En los Martensíticos, los carburos de Vanadio incrementan la resistencia al temple.

Azufre: En algunos aceros inoxidables se añade para mejorar la maquinabilidad en pequeños porcentajes, aunque disminuye la resistencia a la corrosión, ductilidad, soldabilidad y conformabilidad.

Cerio: Es uno de los metales de la serie de las tierras raras, que se añade en pequeñas cantidades para mejorar la resistencia a la temperatura, ya que aumenta la resistencia a la oxidación y a la corrosión a alta temperatura.

Además del Níquel, existen una serie de elementos presentes en estas aleaciones que tienden a mantener la estructura γ o Austenítica hasta temperatura ambiente, estos son los elementos llamados gammaégenos: Carbono, Níquel, Manganeso, Cobalto y Cobre. En cambio, al igual que el Cromo, otro grupo de elementos tienden a facilitar la transformación hacia una estructura α o Ferrítica, elementos llamados alfaégenos y en resumen son: Hierro, Silicio, Titanio, Niobio y Molibdeno.

Usos de los aceros inoxidables

Los aceros inoxidables ofrecen resistencia a la corrosión, una adecuada relación resistencia mecánica - peso, propiedades higiénicas, resistencia a temperaturas elevadas y criogénicas y valor a largo plazo. Son totalmente reciclables y amigables con el medio ambiente. Los aceros inoxidables son ampliamente utilizados en varios sectores, desde la más sofisticada aplicación industrial hasta los utensilios domésticos. Contribuyen, de manera indirecta, a satisfacer las necesidades humanas básicas tales como alimentación, salud, construcción, medio ambiente, transporte y energía. Algunos ejemplos de productos fabricados con aceros inoxidables son los equipos de procesos químicos y petroquímicos; equipos de procesos de alimentos y bebidas; equipos farmacéuticos, cámaras de combustión, sistemas de escape y filtros automotrices; vagones de ferrocarril, aplicaciones arquitectónicas y estructurales; mobiliario urbano, paneles de aislamiento térmico, intercambiadores de calor, tanques y recipientes; barriles de cerveza, instrumentos quirúrgicos, agujas hipodérmicas, monedas, tarjas, ollas, sartenes y cubiertos; lavadoras, lavavajillas. En la industria química y petroquímica, los aceros inoxidables ofrecen elevada resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas así como un bajo costo de mantenimiento. En la industria de alimentos y bebidas y en la industria farmacéutica; proveen excelentes condiciones de higiene además de su resistencia a la corrosión y duración a largo plazo.

Aceros inoxidable Ferríticos

Esta familia de aceros inoxidable debe su existencia a la adición sólo de Cromo y son llamados aceros inoxidable al Cromo o serie 400. Por tener menos elementos de aleación que los austeníticos su costo es de aproximadamente el 70% del costo de un acero austenítico. Metalúrgicamente el Cromo es un formador de Ferrita (la Ferrita es la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo del Hierro α /Acero al Carbono, a temperatura ambiente) y composiciones con un 11 a 14% de Cromo pueden ser tratadas térmicamente (por ejemplo tipos 410, 420, 440). Calentando estas aleaciones a aproximadamente 980 °C se austenizarán y luego, debido a la alta templabilidad que le confieren los elementos de aleación con enfriamientos muy lentos tales como el enfriamiento al aire se transformaran en Martensita. Los aceros inoxidable Ferríticos son esencialmente aleaciones binarias de Fe-Cr que contienen desde 10.5 (tipo 409) hasta 30% de Cromo (tipo 447 y 448). Los aceros con contenidos del 10 al 13% de Cromo con un bajo contenido de Carbono, por estar cerca del bucle γ , en ocasiones debido a la segregación del Cromo durante la solidificación que se concentra en el centro del grano de Ferrita δ , pueden entrar en la zona bifásica de este, y de esta manera tener una estructura dúplex de Ferrita con Austenita en el borde de grano, la que al templarse produce Martensita, disminuyendo la resistencia a la corrosión, la plasticidad y la tenacidad. Por otra parte algo de Martensita en el borde de grano puede mejorar la resistencia al crecimiento de grano ferrítico. Por encima del 30% de Cromo se forma una fase intermetálica compuesta por 46% de Cromo y 54% de Hierro llamada fase σ de composición nominal FeCr, que disminuye la plasticidad de la aleación. Por esta razón se evitan contenidos de Cromo superiores al 30%.

La Tabla 7 muestra algunas composiciones químicas de diferentes aceros inoxidable Ferríticos. En la Figura 14 se presentan los usos principales de los aceros de la serie 400 mientras que en la Figura 15 se muestran las aplicaciones más comunes de los grados Ferríticos y en la Figura 16 se presenta esquemáticamente el desarrollo de los aceros inoxidable Ferríticos y Martensíticos.

Tabla 7. Composiciones químicas de diferentes aceros inoxidable Ferríticos [Laufgang 2003].

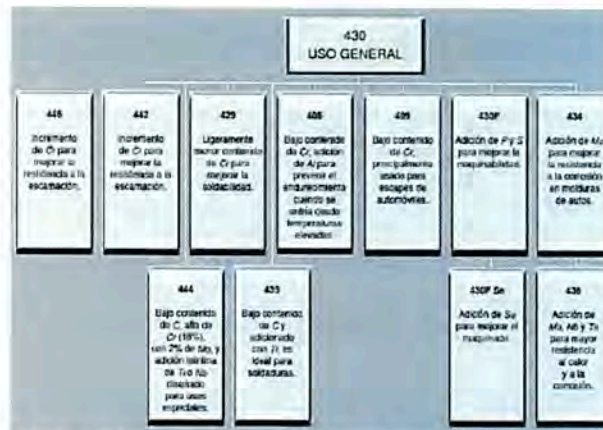
Tipo	Composición (a), %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otro
409	0.08	1.0	1.00	10.5-11.75	...	0.045	0.045	6XCTi (0.75 max)
430	0.12	1.0	1.00	16.0-18.0	...	0.040	0.03	...
430F	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0	...	0.040	0.06	0.6 Mo (b)
446	0.20	1.5	1.00	23.0-27.0	...	0.040	0.03	0.25 N (b)
182-FM	0.08	2.5	1.00	17.5-19.5	...	0.040	0.15 min	...
E-Brite	0.01	2.4	0.40	25.0-27.5	0.50	0.020	0.02	0.75-1.5Mo, 0.015N, 0.2 max Cu (0.5 max Cu+Ni)

(a) Los valores son máximos al menos que se indique otra cosa. (b) Opcional

La serie 400 de los aceros inoxidable Ferríticos, contiene de un modo general, una cantidad de Cromo superior a la de los Martensíticos. Esto mejora la resistencia a la corrosión, pero sacrifica en parte otras propiedades, como la resistencia al impacto (Tabla 8).

Tabla 8. Aceros Inoxidable de la serie 400 Ferríticos [Laufgang 2003].

NORMA ASTM/AISI/SAE	C	Cr	Mo	S	Al	Ti	Nb	MARCA BOHLER
---	≤0.08	11.5/14.5			0.1/0.3			
409	≤0.08	10.5/11.75				>6xC		
410S	≤0.08	11.5/13.5						
430	≤0.12	16/18						
430F	≤0.12	16/18		>0.15				N310
434	≤0.12	16/18	0.1.25					
436	≤0.12	16/18	0.75/1.25				>5xC	
439	≤0.07	17/19				>0.2+4 (C+N)		
444	≤0.025	17.5/19.5	1.75/2.5			Ti+Nb>0.2+4(C+N)		
446	≤0.2	23/27	0.75/1.5			>7 (C+N)		



Cr-Cromo Fe-Hierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio S-Azufre Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno P-Fósforo.
Figura 14. Usos de los aceros inoxidable Ferríticos [CENDI 2014].

Figura 15. Aplicaciones más comunes de los grados Ferríticos [CENDI 2014].

Grados Tipo	Número	Aplicaciones más comunes
AISI	UNS	
405	S40500	Tubing para intercambiadores de calor, partes resistentes al calor
409	S40900	Equipo para refinación del petróleo, racks para templado de acero
429	S42900	Silenciadores y convertidores catalíticos para automóviles, cajas de tráiler, tanques de fertilizantes, contenedores.
430	S43000	Adornos y molduras automotrices, materiales de construcción, equipo químico de proceso, cremalleras, partes para quemadores, intercambiadores de calor, adornos interiores arquitectónicos y paneles, adornos y equipo de cocinas, equipo para proceso de ácido nítrico, equipo para refinación de petróleo, tubos de protección de pirómetros, aparatos científicos, recipientes de almacenamiento, tubing.
430F	S43020	Cerraduras, tuercas y tornillos, conectores, partes para quemadores, equipo para refinación del petróleo, flechas de bombas, partes de válvulas.
430F Se	S43023	Adición de Se para mejorar el maquinado.
434	S43400	El uso de este tipo es generalmente en el área de adornos y molduras automotrices donde es importante tener una buena resistencia a la corrosión.
436	S43600	Usado generalmente en el área de molduras automotrices donde es importante su mejorada resistencia a la corrosión.
439	S43035	Bajo contenido de Carbono y adicionado con Titanio, es ideal para soldadura, también se usa en forma de alambre para cubiertas de rines de automóvil, así como en tanques de agua caliente.
442	S44200	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.
444	S44400	Bajo contenido de Carbono, alto contenido de Cromo (18%), con 2% de Molibdeno y adición mínima de Titanio o niobio, diseñado para usos especiales.
446	S44600	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, silenciadores tubos para pirómetros, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.

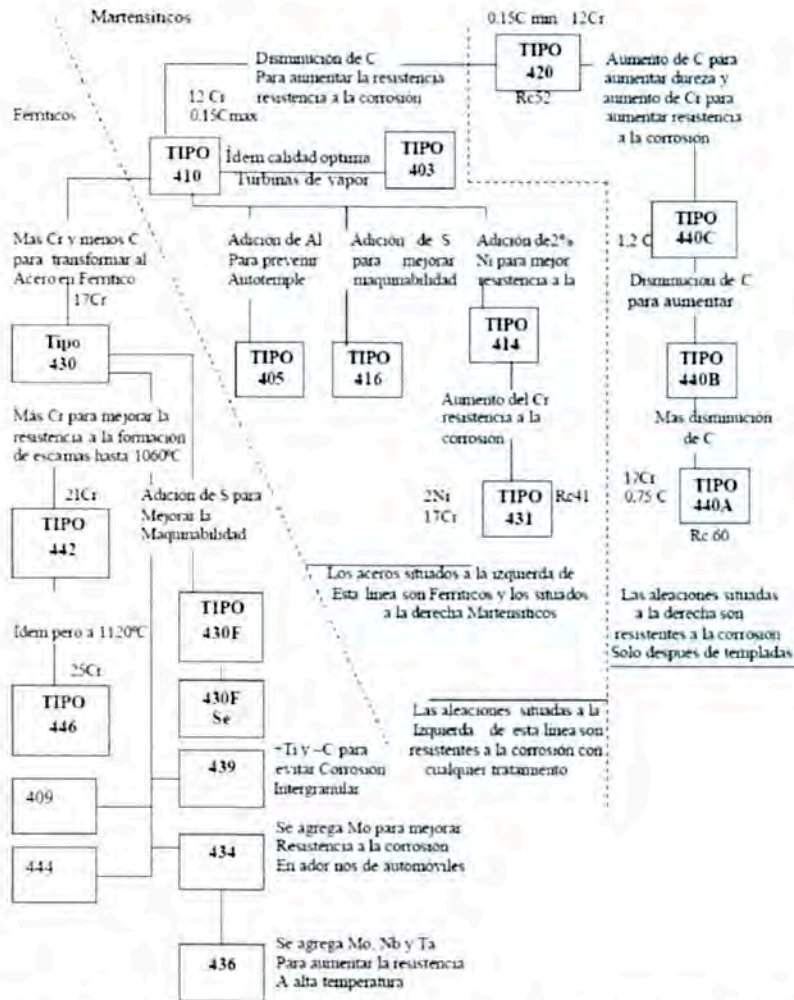


Figura 16. Familia de los aceros inoxidables Ferríticos y Martensíticos [Laufgang 2003].

Los aceros inoxidables Ferríticos tienen ciertas ventajas sobre otros materiales. Tienen una resistencia excelente al "pitting" y a la "crevice corrosion" inducida por cloruros, los cuales han probado ser una solución práctica frente a la corrosión bajo tensión en cloruros aún en caliente, y tienen un resultado excelente frente a la corrosión por ácidos orgánicos, en la producción de urea y los de mayor contenido de Cromo en medios cáusticos. Se puede hablar de dos familias de aceros inoxidables Ferríticos, los clásicos de los años 50's y 60's que tienen propiedades mecánicas menores con respecto a los Austeníticos y la nueva familia de los aceros inoxidables Ferríticos en donde se hizo hincapié en el mejoramiento de las propiedades mecánicas más que en la resistencia a la corrosión. Los aceros inoxidables Ferríticos tienen tres problemas que pueden acentuarse más o menos según sea la aplicación: Excesivo crecimiento de grano, sensitización y pérdida de ductilidad por presencia de fase σ .

Excesivo crecimiento de grano

Por encima de los 950 °C el proceso de crecimiento de grano se intensifica por la falta de la recrystalización del cambio alotrópico de Ferrita a Austenita de estos aceros. El grano grueso tiene menos ductilidad y menos tenacidad que el grano fino. De estos casos la única manera de afinar el grano sería con un tratamiento de recrystalización con deformación plástica previa sólo aplicable a productos semielaborados. En el caso de soldadura esto no puede realizarse y por ello en materiales donde la soldadura es parte del proceso de fabricación el crecimiento de grano puede ser un problema serio.

Sensitización

La sensitización implica la creación de celdas galvánicas dentro de la microestructura de la aleación. Los aceros inoxidable Ferríticos pueden a veces, ya sea por segregación del Cromo, o por estar muy cerca del bucle γ , no ser totalmente Ferríticos generando en el calentamiento a más de 900 °C algo de Austenita en el borde de grano Ferrítico. Si luego de esta transformación se los enfría rápidamente la Austenita formada se transformará en Martensita disminuyendo algo la plasticidad pero por sobre todo disminuyendo la resistencia a la corrosión en el borde de grano, por ello a estos aceros, para mejorarles la resistencia a la corrosión se les debe enfriar lentamente (al contrario de los Austeníticos) desde una temperatura de aproximadamente 1000 °C. Por otra parte la presencia de Martensita en el borde de grano podría mejorar algo la resistencia al crecimiento de grano.

Pérdida de ductilidad por presencia de fase σ

A medida que aumenta la proporción de Cromo para mejorar la resistencia a la corrosión resulta inevitable acercarse a la transformación de hierro α a hierro σ de estructura cristalina tetragonal que predice el diagrama fases en equilibrio Fe-Cr. La fase σ es un intermetálico duro y fragiliza a toda la estructura. La fase σ se forma durante el enfriamiento en el rango de 870 °C/530 °C y puede ser redisuelta con calentamientos del orden de 1100 °C y su formación evitada por un enfriamiento rápido que retenga la fase a alta temperatura (hierro α). Hay poca información acerca de la influencia de la fase σ en la resistencia a la corrosión, sin embargo, es de esperar que una precipitación masiva sea peor que la presencia de zonas aisladas. Ya que la fase σ es un intermetálico más rico en Cromo que la Ferrita y su presencia puede afectar la resistencia a la corrosión por una disminución del Cromo disuelto en la matriz (Figura 17).

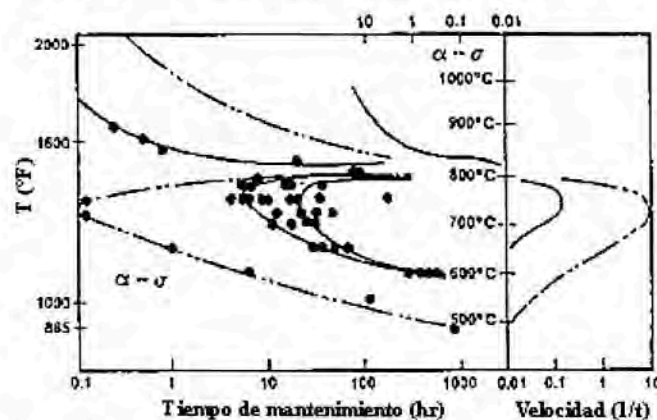


Figura 17. Transformación isotérmica de la reacción hierro α a hierro σ de una aleación con un 46.5% de Cromo. Las líneas continuas corresponden a Ferrita recocida y las líneas punteadas corresponden a Ferrita deformada en frío [Laufgang 2003].

La formación de la fase σ es lenta y con los enfriamientos llevados a cabo en el procesamiento de los aceros inoxidable Ferríticos la formación de esta fase no llega a ser un problema. En cambio si es un problema en servicio al mantener estos aceros altos en Cromo o enfriarlos lentamente a la temperatura de 475 °C.

Fragilización a 475 °C

En el diagrama de equilibrio Fe-Cr se puede observar que la fase σ a 475 °C se desdobra en una fase rica en Cromo (90 % de Cromo) llamada α prima y otra rica en Hierro (14 % de Cromo). La dureza y resistencia aumentan con el tiempo de mantenimiento en este rango de temperaturas pero la ductilidad y la tenacidad disminuyen. La máxima velocidad de fragilización tiene lugar a 475 °C y por esta razón al fenómeno se le denomina fragilización a 475 °C (885F Embrittlement). Aunque como lo expresa la línea punteada a 475 °C del diagrama de equilibrio, esta temperatura no está definida, la fragilización a los propósitos prácticos ocurre en el rango de 320-550 °C. Si bien el diagrama de equilibrio predice que esta fragilización podría ocurrir en aceros con menos del 10 % de Cromo, es raro si es que ocurre en aceros con menos del 12 al 15 % de Cromo. En la Figura 18 se muestra la microestructura del acero inoxidable ferrítico tipo 430 en estado recocido. La presencia de los carburos en este acero reduce en cierto grado su resistencia a la corrosión. Aunque en años mas recientes se han desarrollado nuevos compuestos ferríticos con muy bajos niveles de Carbono y Nitrógeno, con lo cual ha mejorado su resistencia a la corrosión.

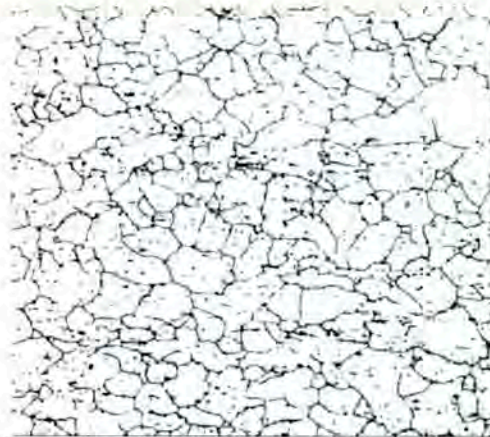


Figura 18. Tira de acero inoxidable (ferrítico tipo 430 recocido a 788 °C. la estructura consiste de una matriz de ferrita con grano equiaxial y partículas de carburo dispersas. Amplificación 100x.

Fisuración inducida por Hidrógeno (FIH)

Los fenómenos de fisuración inducida por ambiente sobre materiales metálicos incluyen los de corrosión bajo tensión (CBT) y corrosión por fatiga (CF), diferenciados inicialmente por la naturaleza estática (CBT) o dinámicamente variable (CF) de las cargas aplicadas sobre el material. Algunos autores [] clasifican de forma separada a éstos de los fenómenos de fisuración inducida por Hidrógeno (FIH), aun cuando en gran número de veces es el Hidrógeno el factor ambiental que fomenta aquellos y, en consecuencia, se podría también considerar que hay procesos, tanto de corrosión bajo tensión como de corrosión por fatiga, en los que la fisuración está inducida por la presencia de Hidrógeno, siendo así la FIH un caso particular, o uno de los pasos de la CBT o de la CF. La FIH en aleaciones metálicas corresponde a aquellos procesos de fisuración subcrítica debidos a mecanismos de rotura local causados por la presencia de Hidrógeno, que ha penetrado en el material desde el ambiente exterior, difundido por su estructura y concentrado de forma diferencial en los diferentes elementos microestructurales del material y, por la existencia de un estado tensional apropiado. Aun cuando sus características de propagación encajan en los aspectos genéricos de los procesos de corrosión bajo tensión y podría considerarse como un tipo más de ellos, la FIH ofrece un alto interés de estudio propio debido tanto a la importancia de los efectos que produce como a su particularidad y al desconocimiento o incertidumbre que aún se tiene del fenómeno.

Son numerosos los estudios en los que se analiza la influencia de la presencia de Hidrógeno en el comportamiento de numerosos sistemas de aleación, especialmente en aceros Ferríticos por su estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo que limita su capacidad de deslizamiento y ofrece una mejor difusividad al Hidrógeno con referencia a los Austeníticos de estructura centrada en las caras. De esta manera, los problemas de FIH afectan a gran cantidad de procesos y componentes industriales, particularmente a aquellos relacionados con las industrias energética y petroquímica. El Hidrógeno es un soluto que puede introducirse, bien durante el proceso de fabricación o posteriormente durante el servicio del material. El Hidrógeno presente en el ambiente que rodea el material, tanto en estado gaseoso o en forma de cationes, sean éstos producto de la disociación de soluciones ácidas o de una semirreacción de corrosión, se adsorbe como Hidrógeno atómico y, una vez dentro del material, se difunde en su seno con preferencia hacia zonas de mayor estado triaxial, como es la zona plástica del frente de la fisura en un sistema fisurado mecánicamente en tracción, y se concentra de forma diferente en los distintos elementos microestructurales del material en función de la energía de atrapamiento que tengan hacia él. Donde se concentra el Hidrógeno origina una fragilización del material por diferentes mecanismos, disminuyendo localmente su capacidad de deformación, lo que puede conllevar un proceso de fisuración bajo tipologías de rotura local diferentes a las propias de la rotura del material sin su presencia, o cuando menos con menor deformación que éstas, siendo en cualquiera de los casos más frágiles. Las fisuras por FIH son en general transgranulares y se inician luego de finalizada la soldadura con retardos de hasta semanas, por esta razón a este tipo de fisuración también se le llama fisuración retardada por Hidrógeno (Figura 19).

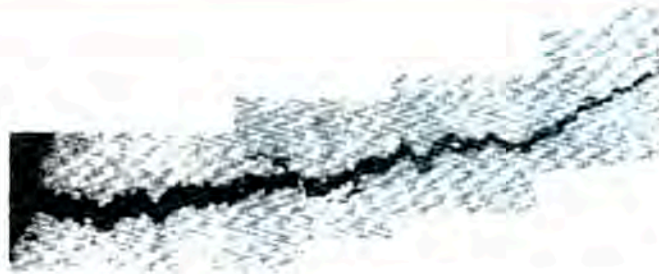


Figura 19. Falla en un acero inoxidable tipo 301 deformado plásticamente en frío debido a FIH [Laufgang 2003].

La FIH ocurre sólo con microestructuras susceptibles. En aceros al Carbono o al CMn una razonable indicación de la presencia de tales estructuras es cuando la dureza supera los 350HV (331HB, 35RC) que corresponde a la presencia de Martensita y a veces de Bainita (Welding Institute, Abington Hall, Abington, Cambridge U. K.). Durante el enfriamiento del acero desde el estado Austenítico, el rango de temperaturas de formación de dichas estructuras se extiende desde los 550 hasta los 200 °C, dependiendo de su composición química. Se encontró que existe una correlación entre la susceptibilidad a la FIH y la velocidad de enfriamiento a 300 °C. Por esta razón temperaturas de precalentamiento de 300 °C tienen un efecto muy marcado en la velocidad de enfriamiento, y por lo tanto en la tendencia a la FIH. La FIH se produce luego de finalizada la soldadura y a temperatura ambiente, en el rango de -100 a 200°C. No ocurre a menos de -100 °C por que la difusión es insuficiente para que los átomos de Hidrógeno difundan dentro del material y se recombinen a Hidrógeno molecular, no ocurre a más de 200 °C porque a temperaturas superiores a 200 °C todo el Hidrógeno se encuentra en estado atómico sin posibilidades de formar moléculas H₂ y la difusión es suficientemente elevada para una masiva migración de átomos a través de la superficie hacia la atmósfera (Figura 20).

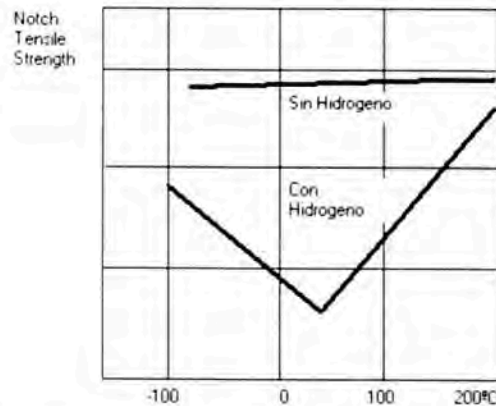


Figura 20. La resistencia de un acero conteniendo Hidrógeno pasa por un mínimo cerca de temperatura ambiente [Laufgang 2003].

La solubilidad del Hidrógeno en el hierro aumenta con la temperatura y por lo tanto a altas temperaturas el hierro disuelve en equilibrio más Hidrógeno que a bajas temperaturas, además a altas temperaturas la fuerza impulsora para expulsar al Hidrógeno es menor (Figura 21).

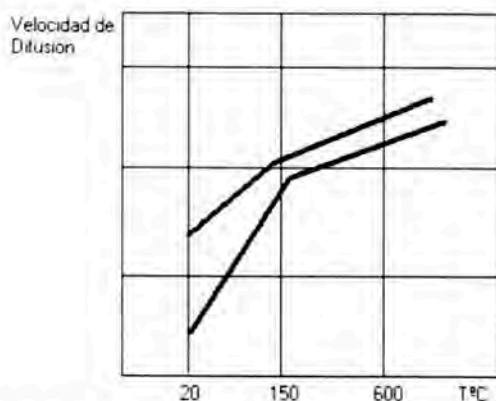


Figura 21. La velocidad de difusión del Hidrógeno en un acero Ferrítico disminuye por encima de los 150 °C [Laufgang 2003].

Aceros inoxidables Martensíticos

Los aceros inoxidables Martensíticos son aquellas aleaciones Fe-Cr que atraviesan el campo γ del diagrama de fases en equilibrio Fe-Cr y por lo tanto pueden austenizarse y templarse martensíticamente. Pueden estar aleados con pequeñas cantidades de otros elementos pero usualmente no con más de 2 a 3%. Son Ferríticos en estado de recocido pero son Martensíticos con un enfriamiento más rápido ya sea en aire o en un medio líquido desde una temperatura superior a la crítica. Aceros de este grupo en general no contienen más de 14% de Cromo, excepto los tipos 440 A, B y C que contienen del 16 al 18% de Cromo y una cantidad de Carbono suficiente para producir el endurecimiento. Estos tres aceros son sólo resistentes a la corrosión en estado de temple pues al tener mucho Carbono si este se encontrase formando carburos (de Cromo) disminuiría la cantidad de Cromo disuelta en el Hierro hasta valores inferiores al 10%, límite inferior del Cromo para que un acero sea inoxidable. Estos aceros pueden ser templados y revenidos de la misma manera que los aceros aleados. Tienen una excelente resistencia mecánica y son magnéticos. En la Tabla 9 se observan las propiedades mecánicas mínimas de estos aceros. Los aceros inoxidables Martensíticos poseen una estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo (Martensítica) en su condición endurecida. Son ferromagnéticos, endurecidos por tratamientos térmicos y generalmente resistentes a la corrosión sólo en ambientes medios. El contenido de Cromo es generalmente de 10.5 a 18%, y el contenido de Carbono puede exceder el 1.2%. Los contenidos de Cromo y de Carbono se balancean para asegurar una estructura Martensítica. Elementos como el Niobio, Silicio, Tungsteno y Vanadio se pueden añadir para modificar la respuesta del templado después del endurecimiento. Pequeñas cantidades de Níquel se pueden añadir para mejorar la resistencia a la corrosión en algunos medios y para mejorar la tenacidad.

Tabla 9. Propiedades mecánicas mínimas de los aceros inoxidables Martensíticos [Laufgang 2003].

UNS No.	AISI	Resistencia a la tracción MPa	Resistencia a la fluencia MPa	Alargamiento a la rotura %	Reducción en área %	Dureza
S40300	403	485	205	25(b)	---	HRB 88 max
S41000	410	450	205	22(b)	---	HRB 95 max
S41008	410S	415	205	22	---	HRB 95 max
S41040	410Cb	485	275	12	35	---
S41400	414	795	620	15	45	---
S41800	418(c)	1450(d)	1210(d)	18(d)	52(d)	---
S42200	420(e)	1720	1480(d)	8(d)	25(d)	HRC 52(d)
S42200	422(f)	965	760	13	30	---
S43100	431(c)	1370(d)	1030(d)	16(d)	55(d)	---
S44002	440A	725(d)	415(d)	20(d)	---	HRB 95(d)
S44003	440B	740(d)	425(d)	18(d)	---	HRB 96(d)
S44004	440C	760(d)	450(d)	14(d)	---	HRB 97(d)
S50100	501	485(d)	205(d)	28(d)	65(d)	---
S50200	502	485(d)	205(d)	30(d)	70(d)	---
---	414L	795(d)	550(d)	20(d)	60(d)	---
---	416 plusX	515	275	30	60	---

(c) Revenido a 260 °C (d) Valores típicos (e) Revenido a 205 °C (f) Doble revenido

Los aceros inoxidable martensíticos se templen cuando son enfriados directamente al aire luego del proceso de laminación en caliente, por lo tanto deben ser recocidos entre los 650-760 °C por alrededor de 4 horas luego de la laminación. Este recocido del proceso difiere del recocido total, que se realiza a una temperatura de 815-870 °C con un enfriamiento dentro del horno a velocidades de 40 a 55 °C/hr hasta los 540 °C y luego enfriados en aire hasta temperatura ambiente.

- En el tratamiento térmico de los aceros inoxidable martensíticos, temperaturas de hasta 480 °C se consideran temperaturas de distensionado o relevamiento de las tensiones residuales, debido al poco cambio en la resistencia a la tracción y la dureza de aceros templados y calentados a estas relativamente bajas temperaturas.
- Temperaturas del orden de 540-650 °C se les denomina temperaturas de revenido
- Temperaturas entre 650-760 °C se denominan temperaturas de recocido

En la Tabla 10 se incluyen las composiciones químicas de los aceros inoxidable Martensíticos de los tipos 410 y 440C. El acero inoxidable 410 con 12% de Cromo es el acero Martensítico de más baja dureza y uno de los propósitos generales para los cuales se utiliza es en aplicaciones tales como partes de maquinarias, flechas de bombas, pernos y boquillas. La aleación tipo 440C con 16 % de Cromo y 1 % de Carbono es el acero inoxidable Martensítico de más alta dureza entre todos los aceros resistentes a la corrosión. Su elevada dureza se debe a una matriz Martensítica dura y a la presencia de una gran concentración de carburos primarios.

Tabla 10. Composiciones químicas de diferentes aceros inoxidable Martensíticos [Laufgang

20031 UNS No.	Tipo	Composición (a), %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otro
S41000	410	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	...	0.04	0.03	...
S41600	416	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0	...	0.06	0.15 min	0.6 Mo(b)
S42000	420	0.15 min	1.00	1.00	12.0-14.0	...	0.04	0.03	...
S42010	TrimRite	0.15-0.30	1.00	1.00	13.5-15.0	0.25-1.00	0.04	0.03	0.4-1Mo
S42020	420F	0.15 min	1.25	1.00	12.0-14.0	...	0.06	0.15	0.6 Mo(b)
S43100	431	0.20	1.0	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	...
S44002	440A	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0	...	0.04	0.03	0.75 Mo

(a) Los valores son máximos al menos que se indique otra cosa. (b) Opcional.

En resumen, los aceros inoxidable martensíticos son la primera rama de los aceros inoxidable al Cromo (Figura 22). Fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente y representan una porción de la serie 400 AISI (Figura 23). Sus características son las siguientes:

- Moderada resistencia a la corrosión.
- Son endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
 - Son magnéticos.
 - Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad.
 - Después de ser tratados para endurecimiento, generalmente son utilizados en procesos de maquinado y deformado en frío.

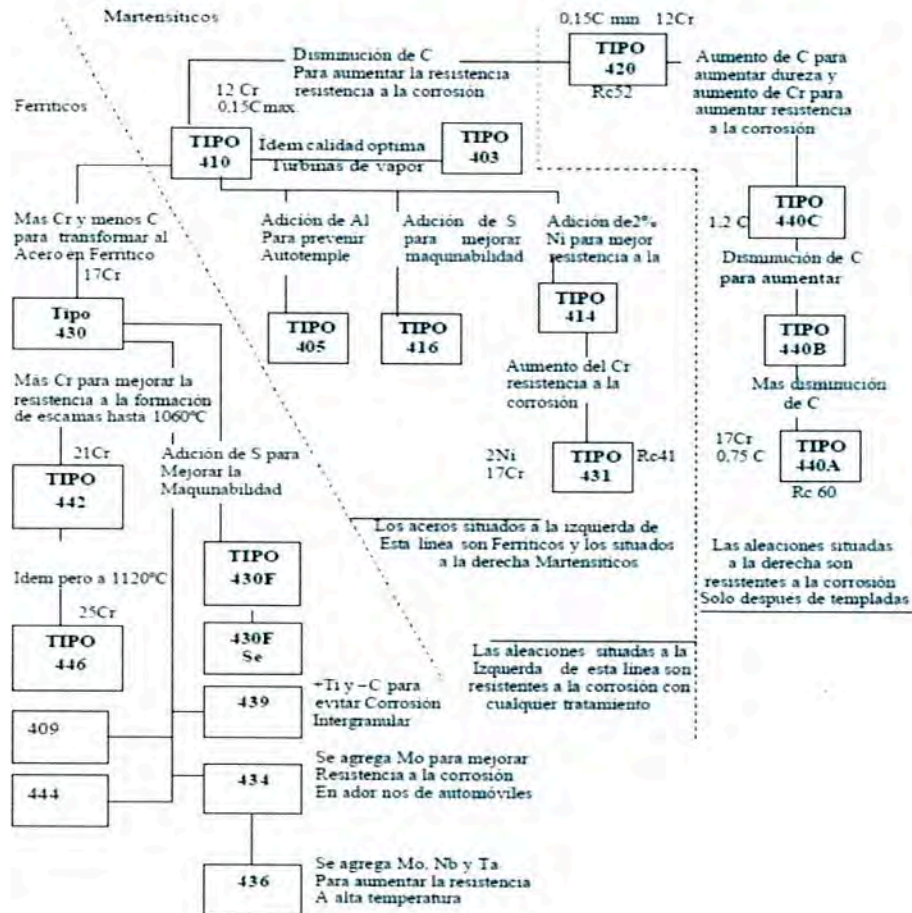
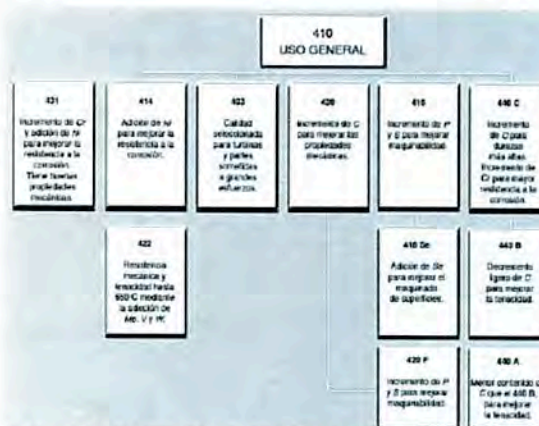


Figura 22. Familia de los aceros inoxidables Martensíticos [CENDI 2014].



Ni-Níquel Cr-Cromo Fe-Hierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno V-Vanadio W-Volframio S-Azufre P-Fósforo.

Figura 23. Familia de los aceros inoxidables Martensíticos [CENDI 2014].

Tabla 26. Aplicaciones más comunes de los grados Martensíticos [CENDI 2014].

Grados Tipo AISI	Número UNS	Aplicaciones más comunes
403	S40300	Tubos de Bourdon, partes críticas de maquinaria a alta temperatura, partes de motores jet, partes de turbinas de gas o vapor.
410	S41000	Tuercas y tornillos, bushings, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación del petróleo, partes para bombas, válvulas, partes para turbinas a gas o vapor, vajillas, pernos, partes micrométricas.
414	S41400	Equipo para minas, tijeras, láminas calibradoras, flechas, remaches, brocas, asientos para válvulas.
416	S41600	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, cabezas de palos de golf, partes de combas, flechas, partes para válvulas.
416Se	S41623	Adición de Se para mejorar el maquinado.
420	S42000	Bushings, cubiertos, instrumentos dentales y quirúrgicos, anzuelos, engranes, hojas de cuchillos, moldes, partes de bombas, herramientas, partes para válvulas, llaves.
420F	S42020	Incremento de Azufre y Fosforo para mejorar la maquinabilidad.
422	S42200	Resistencia mecánica y tenacidad hasta 650 °C mediante la adición de Molibdeno, Vanadio y Tungsteno.
431	S43100	Conectores, cerraduras, partes para transportes, equipo marino, flechas de propelas, flechas de bombas, resortes, partes para válvulas.
440A	S44002	Cuchillería.
440B	S44003	Cuchillería, partes para válvulas, partes resistentes al secado.
440C	S44004	Inyectores, partes para válvulas, equipo quirúrgico, partes resistentes al desgaste, cubiertos.

Aceros inoxidables Austeníticos

La adición como mínimo de 8% de Níquel a un acero con 18% de Cromo lo transforma en Austenítico manteniendo sus características de inoxidable. Esta y otras modificaciones, constituyen la serie 300 de la familia de los aceros inoxidables Austeníticos o también llamados Cr-Ni. En la Figura 24 se muestra una serie de diagramas de equilibrio Fe-C con 18% de Cromo y contenidos crecientes de Níquel para expandir el campo γ (Austenita) y disminuir hasta casi un 100% el campo α . Se puede observar del diagrama que a temperatura ambiente sólo se encuentra Austenita y carburos de Hierro y de Cromo, dependiendo de la cantidad de Carbono en la aleación.

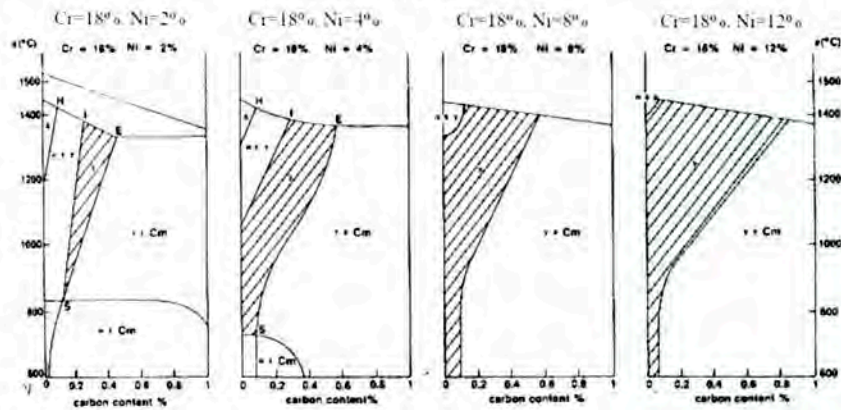


Figura 24. Influencia del contenido de Níquel en la fase γ de un acero con 18% de Cromo [Laufgang 2003].

La inherente plasticidad de la estructura cúbica centrada en las caras de la Austenita transmite su tenacidad, reducción en área y excelente resistencia al impacto aun a temperaturas criogénicas a estos aceros. Para aplicaciones con corrosión es necesario el control del contenido de Carbono por debajo de 0.08% (304 y 316). Cuando estos aceros se sueldan se deben tomar precauciones adicionales y frecuentemente se especifican valores de Carbono inferiores a 0.03% (304L y 316L). En ocasiones se adicionan elementos de aleación estabilizadores del Carbono, como el Titanio (321) o Niobio (347) como medio de impedir la formación de carburos de Cromo durante el servicio de procesamiento a altas temperaturas. El Carbono se combinara preferiblemente con el Titanio (como mínimo 4 veces el contenido de Carbono) o con el Niobio

(como mínimo 10 veces el contenido de Carbono) permitiendo al Cromo seguir en solución sólida en el hierro para impartir resistencia a la corrosión. Los aceros inoxidable Austeníticos no pueden ser templados para obtener Martensita, ya que el Níquel estabiliza a la Austenita a temperatura ambiente y aún por debajo de ella. A pesar de la ductilidad inherente de estos aceros es necesario controlar algunos factores para obtener resultados óptimos, sobre todo si estamos hablando de soldadura u otros procesos que utilicen altas temperaturas. Como familia, la serie 300 de aceros inoxidable puede identificarse por que no son magnéticos. Los aceros inoxidable Austeníticos son los menos usados por su ductilidad lo que los hace ideales para ser soldados, un proceso muy utilizado en la construcción de recipientes y caerías de la industria química y petroquímica en donde la corrosión es una condición de servicio determinante. Estos aceros presentan un deterioro de la resistencia a la corrosión intergranular como consecuencia de la precipitación de carburos de Cromo en el borde de grano. La serie 300 contiene Níquel y hasta 2% de Manganeso. Puede añadirse Molibdeno, Cobre, Silicio, Aluminio, Titanio y Niobio para conferir ciertas características, como resistencia a perforaciones o a la oxidación. Estos aceros tienen una excelente formabilidad, y su respuesta a la deformación se puede controlar variando el contenido de Níquel (mayores contenidos de Níquel resultan en una mejor formabilidad). La Tabla 11 muestra las composiciones químicas de diferentes aceros inoxidable austeníticos.

Tabla 11. Composiciones químicas de diferentes aceros inoxidable Austeníticos [Laufgang 2003].

UNS No.	Tipo	Composición (a), %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otro
S30100	301	0.15	2.0	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	...
S30200	302	0.15	2.0	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	...
S30300	303	0.15	2.0	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.15 min	0.6 Mo (b)
S30400	304	0.08	2.0	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	...
S30520	305	0.12	2.0	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	...
S31600	316	0.08	2.0	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2-3 Mo
S31700	317	0.08	2.0	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3-4 Mo

(a) Los valores son máximos al menos que se indique otra cosa. (b) Opcional.

En la Figura 25 se muestra la familia de los aceros inoxidable Austeníticos y en la Figura 26 se muestran las aplicaciones más comunes de los grados Austeníticos, mientras que en la Figura 27 se presenta un diagrama esquemático que muestra el desarrollo de los aceros inoxidable Austeníticos.



Ni-Níquel Cr-Cromo Fe-Hierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno V-Vanadio W-Volframio S-Azufre P-Fósforo.

Figura 25. Familia de los aceros inoxidable Austeníticos [CENDI 2014].

Tabla 12. Desarrollo de los aceros inoxidable Austeníticos [Laufgang 2003].

Tipo	Descripción
302	Aleación básica con 18% de Cromo y 8% de Níquel
302B	Se agrega Silicio para mejorar la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura

303	Agregado de Azufre (0.15 min) al grado 302 para mejorar la maquinabilidad
304	Menos % de Carbono (0.08%) que el 302 para mejorar la resistencia a la corrosión intergranular
304L	Menos de 0.03% de Carbono (para reducir riesgos de corrosión intergranular)
304N	Agregado de Nitrógeno para aumentar la resistencia mecánica
304LN	Agregado de Nitrógeno al 304L para aumentar la resistencia mecánica
308	Agregado de Cromo y Níquel (20-10) para mejorar la resistencia a la corrosión y a la formación de escamas. Se usa como aporte en soldadura
309/310S	Más Cromo y Níquel para aumentar la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura
310/310S	Más Cromo y Níquel para aumentar aún más la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura
316	Agregado de 2-3% de Molibdeno mejora la resistencia al pitting y a la tracción a alta temperatura
316N	Agregado de 0.15% de Nitrógeno para aumentar la resistencia mecánica
316F	Agregado de Azufre y Fósforo para mejorar la maquinabilidad
316L	Disminución del % de Carbono para mejorar la resistencia a la corrosión intergranular en soldadura
317	Más Cromo y Níquel (19-14+3.5% de Molibdeno) mejoran la resistencia a la corrosión
317L	Menos Carbono para mejorar la resistencia a la corrosión intergranular especialmente en soldadura
347	Acero estabilizado con Niobio y Tantalio para formar carburos de Niobio y Tantalio en vez de Cromo
348	Acero estabilizado con Tantalio y Cobalto limitados para aplicación nuclear
321	Acero estabilizado con Titanio para formar carburos de Titanio en vez de carburos de Cromo
303	Agregado de Azufre (0.15 min) al grado 302 para mejorar la maquinabilidad
202	Se reemplaza parcialmente el Níquel por Nitrógeno y Manganeso. 8% de Manganeso y 0.25% de Nitrógeno
205	Se reemplaza parcialmente el Níquel por Nitrógeno y Manganeso. 15% de Manganeso y 0.35% de Nitrógeno
201	Se reemplaza parcialmente el Níquel por Nitrógeno y Manganeso. 6% de Manganeso y 0.25% de Nitrógeno
314	Se incrementa el Silicio para aumentar la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura
303	Se agrega Azufre para aumentar la maquinabilidad
303Se	Se agrega Se para aumentar la maquinabilidad y mejorar la terminación superficial más Níquel (18-35) para aumentar la resistencia al shock térmico y carbonización
330	

Figura 26. Aplicaciones más comunes de los grados Austeníticos [CENDI 2014].

Grados Tipo AISI	Número UNS	Aplicaciones más comunes
303	S30300	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, bushings, cremalleras, partes maquinadas, partes para bombas, flechas.
303Se	S30323	Pernos, tornillos, tuercas, accesorios para aviones, remaches.
304	S30400	Equipo químico de proceso, equipo de proceso y manejo de alimentos, intercambiadores de calor, equipo para hospitales.
304L	S30403	Reducción de Carbono para evitar la sensitización durante la soldadura.
305	S30500	Equipo para la industria del café, reflectores, partes con calentamiento y enfriamiento continuos.
308	S30800	Hornos industriales, usado primordialmente como material de aporte para soldadura
309	S30900	Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de quemadores, de turbinas de gas, intercambiadores de calor.
309S	S30908	
310	S31000	Calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros, equipo químico de proceso.
310S	S31008	
316	S31600	Adornos arquitectónicos, equipo químico de proceso, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.
316L	S31603	Reducción de Carbono para evitar sensitización durante la soldadura.
316LN	S31651	Reducción de Carbono, adición de Nitrógeno para incrementar su resistencia mecánica.
317	S31700	Tornillos y alambre quirúrgico, equipo farmacéutico, equipo químico de proceso.
317L	S31703	Reducción de Carbono para evitar sensitización durante la soldadura.
321	S32100	Equipo químico de proceso, recipientes a presión y de almacenamiento, partes de motores jet.
330	N08330	Hornos de recocido, equipo químico de proceso, partes para turbinas de gas e intercambiadores de calor.
347	S34700	Equipo para tratamientos térmicos, tanques soldados para el almacenamiento de sustancias químicas orgánicas, juntas de expansión.

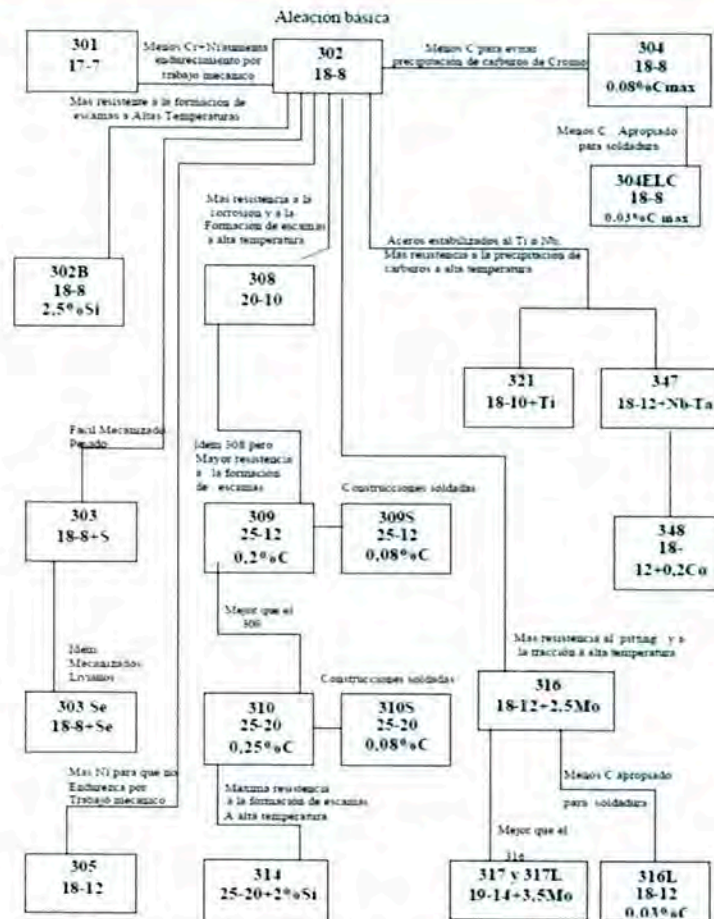


Figura 27. Desarrollo de los aceros inoxidables Austeníticos [Laufgang 2003].

La adición de Níquel como elemento de aleación, en determinadas cantidades, permite transformar la estructura Ferrítica en Austenítica y esto tiene como consecuencia un gran cambio en muchas propiedades. Los aceros inoxidables Austeníticos, de los cuales el 304 (18 % de Cromo-8 % Níquel) es el más popular, tiene excelente resistencia a la corrosión, excelente formabilidad y excelente soldabilidad. Los aceros inoxidables Austeníticos son utilizados en aplicaciones a temperatura ambiente, en altas temperaturas (hasta 1150 °C) y en bajísimas temperaturas (condiciones criogénicas), un conjunto de alternativas que es difícil que sean conseguidas con otros materiales. El acero 304 es un material con grandes posibilidades en sus aplicaciones, a tal punto que lo podemos encontrar en nuestras casas y también en la industria, en aplicaciones de gran responsabilidad. Tomando en cuenta las condiciones del medio ambiente, sin embargo el 304 no es el acero Austenítico más utilizado.

Uno de los problemas que enfrenta el 304 (y lo mismo ocurre con otros aceros inoxidables) es el de la acción corrosiva provocada por el anión cloruro, CL (-). Dependiendo de la concentración de cloruros en el medio, de la temperatura y del PH [Li 2014], tres formas de corrosión pueden ocurrir: por picado "pitting" [Turnbull 2014], en rendijas "slits" y bajo tensión. De estas formas de corrosión, los aceros inoxidables Ferríticos también son propensos a las dos primeras y se puede decir que, en general, los aceros inoxidables Austeníticos tienen mejor resistencia que los Ferríticos a las corrosiones por picado y en rendijas (debido a la acción del Níquel que favorece la repasivación del material en las regiones donde la película pasiva fue quebrada por estas formas de corrosión).

La adición de Molibdeno, en un 2 % aproximadamente, transforma el 304 en el acero inoxidable 316, un material mucho más resistente a la corrosión por picado y por rendijas. El acero inoxidable 316 es un poco mejor que el 304 en la corrosión bajo tensión (corrosión que combina normalmente tres factores: medio agresivo, en el caso de los fabricantes, cloruros, temperatura y, como el nombre lo indica, tensiones, sean estas aplicadas o residuales como resultado del proceso de fabricación). Pero la corrosión bajo tensiones es conocida como el talón de Aquiles de los aceros inoxidables Austeníticos, principalmente con los que contienen entre 8 y 10 % de Níquel. Un gran aumento en el contenido de Níquel

disminuye el riesgo de corrosión bajo tensiones. Es muy importante recordar que los aceros inoxidable Ferríticos son inmunes a esta forma de corrosión.

La cantidad máxima de Carbono en los aceros 304 y 316 es de 0,08%. Cuando estos materiales son sometidos a temperaturas entre 425 °C y 850 °C, el Carbono y el Cromo se combinan y precipitan como Carburo de Cromo ($Cr_{23}C_6$). Esta precipitación ocurre preferencialmente en los límites de grano del material, lo que provoca un empobrecimiento de Cromo en las regiones adyacentes a los mismos. El fenómeno es conocido como sensibilización y un material sensibilizado puede quedar con cantidades de Cromo en solución sólida, en las adyacencias de los contornos de granos, tan bajas que esas regiones ya no tendrán resistencia a la corrosión. Los materiales sensibilizados, cuando están en contacto con determinados medios, en particular medios ácidos, sufrirán corrosión. Como el empobrecimiento de Cromo se da en las adyacencias de los contornos de grano, este tipo de corrosión, que acaba destacando los granos del material, es conocida como corrosión intergranular. Estos aceros presentan también tres problemas asociados a las altas temperaturas ya sea de servicio o durante la fabricación. Ellos son: Sensibilización, fisuración en caliente y formación de fase σ

Sensibilización. Corrosión intergranular (CIG)

En el rango de 420-850 °C el Cromo y el Carbono disueltos en el hierro de estos aceros se combina y precipita en el borde de grano como carburo de Cromo. La disminución de Cromo de la solución sólida en las adyacencias del borde de grano deja poco Cromo para formar la película protectora de óxido de cromo. Esta situación deja al acero inoxidable vulnerable a ciertos medios y se le denomina Sensibilización. La corrosión resultante es intergranular como consecuencia de la precipitación de los carburos de Cromo. Existen tres métodos generales para evitar o corregir la sensibilización:

Tratamiento térmico de solubilización: Consiste en calentar el acero ya sensibilizado hasta temperaturas por encima de 1000 °C. En este rango la Austenita actúa como disolvente energético de los carburos precipitados recomponiéndose la estructura. Al enfriar hay que pasar rápidamente por el rango de 800 a 500 °C para que no se repita de nuevo el fenómeno de sensibilización.

Seleccionar aceros con poco contenido de Carbono: Cuanto menor sea el contenido de Carbono del acero, menores serán las posibilidades de combinación de los elementos reactivos con el Carbono. Los aceros inoxidables con contenidos de Carbono superiores al 0,05% sufren en pocos minutos la sensibilización. Este tipo de aceros de muy bajo contenido de Carbono se denominan con la letra LC de Low Carbon o ELC de Extra Low Carbon, los típicos son el AISI 314L (UNS S30403) y el ANSI 316L (UNS S31603). Aunque muy bajos contenidos de Carbono dan lugar a una disminución de propiedades mecánicas.

Estabilizar los aceros inoxidables frente a la sensibilización: Esta estabilización se consigue al aportar a la aleación elementos con mayor avidez por el Carbono que el propio Cromo, elementos tales como el Titanio y el Niobio. Éstos son más reactivos que el Cromo, y además generan carburos muy finos que quedan dentro de la estructura cristalina, no produciendo precipitados en borde de grano. Los aceros inoxidables estabilizados más comunes son el AISI 321 (UNS S32100) con un contenido de Titanio cinco veces superior al contenido de Carbono y el AISI 347 (UNS S34700) con un contenido de Niobio de diez veces el contenido de Carbono. Estos elementos reaccionan con el Carbono y el Nitrógeno dando lugar a carburos, nitruros y carbo-nitruros de pequeño tamaño, aumentando al mismo tiempo la resistencia a la fluencia a alta temperatura o Creep. No siempre esta solución es la óptima porque en algún medio ácido (como el ácido nítrico) los carburos de Titanio dan lugar a una corrosión muy localizada.

Fisuración en caliente

La fisuración en caliente corresponde a la aparición de fisuras distribuidas en el material durante la etapa de enfriamiento, cuando este se encuentra aún a alta temperatura (1000 °C). Dichas fisuras frecuentemente no alcanzan la superficie. El origen de dicho fenómeno se atribuye a la fractura de una película intergranular de bajo punto de fusión (1100 - 1200 °C) cuando esta queda atrapada en un acero Austenítico que se enfría desde su temperatura de fusión (1420-1450 °C). El menor punto de fusión de dicha película, origina que ésta quede atrapada en forma líquida en la estructura ya sólida y solidifique posteriormente generando tensiones de tracción en dicho proceso cuando hay restricciones a la contracción. La presencia de impurezas de bajo punto de fusión como Fósforo, Azufre y Silicio favorecen la ocurrencia de dicho fenómeno. Un acero Austenítico es más susceptible a micro fisuras que un acero con algo de Ferrita. Está comprobado que pequeñas cantidades de Ferrita (2-3%) en aceros Austeníticos disminuyen el riesgo de ocurrencia de este fenómeno, al disminuir la concentración de impurezas en los bordes de grano. Además, la Ferrita disuelve más fácilmente que la Austenita las impurezas. La mayor ductilidad de la Ferrita en comparación con la Austenita, le permite compensar la contracción deformándose plásticamente y evitando la fisuración en caliente. En ausencia de Ferrita, se deben controlar elementos tales como Silicio, Fósforo y azufre para prevenir fisuras.

Formación de fase σ

La fase σ es un compuesto intermetálico de FeCr, su composición es alrededor de un 45% de Cromo y 55% de Hierro. Se caracteriza por una alta dureza, superior a 900HV y una gran fragilidad. Su influencia es notable en características mecánicas, resistencia a la corrosión y en las propiedades de la soldadura. Una de las razones de la formación de fase σ en los aceros inoxidables es la presencia de Ferrita. Si se les mantiene durante un largo periodo a temperaturas comprendidas

entre los 550 y 900 °C, la Ferrita se transforma en fase σ . La fase σ no sólo se origina en aceros de alto Cromo, sino que también puede formarse en aceros Ferríticos con contenidos de Cromo desde 14%, en aceros Austeníticos y Austeno-Ferríticos especialmente en presencia de una fase α rica en Cromo. Los elementos aleantes modifican la velocidad y la temperatura de formación de fase σ . Elementos como el Silicio, Molibdeno y Titanio, al favorecer la formación de la fase α , favorecen la formación de fase σ . En resumen, la fase σ es perjudicial en la mayoría de los casos. Disminuye la ductilidad, aumenta los riesgos de fisuración y disminuye la resistencia a la corrosión. Con un tratamiento térmico, se puede disolver en la Austenita, transformándola de nuevo en Ferrita. Una vez formada, la fase σ puede ser removida con un calentamiento de redisolución a 1050 °C [INDURA 2010].

Serie 316

El grado 316 está en segundo lugar en importancia que la 304 entre los aceros inoxidable Austeníticos. El Molibdeno le da a la 316 una mejor resistencia a la corrosión que el grado 304, particularmente una resistencia más alta a la corrosión por picaduras y por agrietamiento en ambientes de cloruro. Tiene características de formación y de soldadura excelentes. No se requiere templar la soldadura después de haber soldado. El grado 316L, la versión de bajo Carbono de la 316, es inmune de la sensibilización (precipitación del carburo en el límite de grano). El grado 316H, con su contenido más alto de Carbono, tiene uso a temperaturas elevadas, al igual que el grado estabilizado 316Ti. La estructura Austenítica también da a estos grados una dureza excelente, incluso por debajo de las temperaturas criogénicas. Las Tablas 13, 14 y 15 muestran la composición química y las características mecánicas y físicas, respectivamente, para los aceros 316.

Tabla 13. Composición para el grado 316 de aceros inoxidable.

Grado		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
316	Min	-	-	-	0	-	16.0	2.00	10.0	-
	Máx	0.08	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0	0.10
316L	Min	-	-	-	-	-	16.0	2.00	10.0	-
	Máx	0.03	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0	0.10
316H	Min	0.04	0.04	0	-	-	16.0	2.00	10.0	-
	Máx	0.10	0.10	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0	-

Tabla 14. Propiedades mecánicas de aceros inoxidable del grado 316.

Grado	Esfuerzo Extensible (MPa) mín	Esfuerzo de la Producción 0.2% Prueba (MPa) mín	Elongación (% en 50m m) mín	Dureza	
				(HRB) máx	(HB) máx
316	515	205	40	95	217
316L	485	170	40	95	217
316H	515	205	40	95	217

Tabla 15. Características físicas típicas para aceros inoxidable del grado 316.

Grado	Densidad (kg/m ³)	Módulo elástico (GPa)	Coeficientes de expansión térmica ($\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$)			Conductividad térmica (W/m.K)		Calor específico 0-100°C (J/kg.K)	Resistencia eléctrica (n Ω .m)
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	En 100°C	En 500°C		
316/L/H	8000	193	15.9	16.2	17.5	16.3	21.5	500	740

Grado 316L

La 316L (18 % de Cromo-14 % de Niquel-2.5 % de Molibdeno), es una variante de bajo Carbono y fundida a vacío de la composición 316 estándar. La Tabla 16 muestra la composición química del acero 316L y la Tabla 17 muestra las propiedades mecánicas de éste. El paso de fundido al vacío imparte una mejor limpieza, y la composición está diseñada para mejorar la resistencia a la corrosión y brindar una estructura libre de Ferrita.

Tabla 16. Composición Química 316L (a).

Elemento	Composición (% e. p.)
Carbono	0.03 máx.
Manganeso	2.00 máx.
Fósforo	0.03 máx.
Azufre	0.03 máx.
Silicio	0.75 máx.
Cromo	17.00 – 20.00
Niquel	12.00 – 14.00
Molibdeno	2.00 – 4.00

(a) ASTM, F139-86

El tamaño de grano recomendado para la 316L es el ASTM No. 5 o más fino cuando se evalúe con los métodos de la norma E112. El tamaño de grano deberá ser uniforme a lo largo de todo el espécimen. El acero 316L es usado ordinariamente en el 30% del estado trabajado en frío, pues metales trabajados en frío tienen un marcado aumento en la cedencia, último esfuerzo de tensión, y esfuerzo a la fatiga relativos al estado aleado. Por otro lado, hay una disminución en la ductilidad.

Tabla 17. Propiedades mecánicas del acero inoxidable de la serie 316L (a).

Condición	Esfuerzo último de tensión, mín. (MPa)	Esfuerzo de cedencia, mín (MPa)	Alargamiento en 2in. (50.8 mm) mín. %	Dureza Rockwell, mín.
Recocido	485	172	40	95 HRB
Trabajado en frío	860	690	12	-

(a) ASTM, F139-86

Usos del grado 316L

Piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada; equipo de las industrias química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon y tintas; cubas de fermentación, piezas de válvulas; tanques; agitadores y evaporadores; condensadores, piezas expuestas al ambiente marítimo etc; piezas de válvulas; bombas; cuando se necesita una menor proporción de Carbono que el tipo 304 para restringir la precipitación de carburos que resultan de la soldadura, especialmente cuando las partes no pueden recibir tratamiento térmico después de soldar; adornos, tanques soldados de almacenamiento de productos químicos y productos orgánicos; bandejas, recubrimientos para hornos de calcinación.

Fases formadas

La aleación 316L contiene más de 16% de Cromo, que es un agente estabilizador de Ferrita, y suficientes agentes estabilizadores de Austenita, como los son el Carbono, Nitrógeno, Níquel y Manganeso; para mantener la Austenita estable a temperatura ambiente. Debido a su alto contenido de Níquel, el grado 316L es totalmente Austenítico, con una mayor tendencia a la estabilización de δ -Ferrita debido a su alto contenido de Cromo y bajo contenido de Carbono. El carburo más ampliamente observado en aceros inoxidables Austeníticos es el $M_{23}C_6$, que generalmente es referido como $Cr_{23}C_6$, pero más propiamente es $(Cr,Fe)_{23}C_6$ o $(Cr,Fe,Mo)_{23}C_6$. En grados Austeníticos con substanciales adiciones de Molibdeno y Niobio usualmente precipitan carburos del tipo M_6C . Para el caso del grado 316L se observaría el carburo Fe_3Mo_3C . La tabla 18 muestra las fases secundarias más observadas en los aceros inoxidables 316L.

Tabla 18. Fases secundarias formadas en aceros inoxidables de la serie 316L.

Fase	Estructura cristalina	Parámetros de red, nm	Composiciones reportadas	Comentarios
$M_{23}C_6$	FCC	$a_0=1.057-1.068$	$(Cr)_{16}(Fe_3Mo_2)C_6$ $(Cr)_{17}(Fe_{4.5}Mo_{1.5})C_6$ $(CrFe)_{23}C_6$	Es el carburo más comúnmente observado en aceros inoxidables Austeníticos. Precipita de 500-950 °C. más rápido a 650-700 °C.
M_6C	FCC	$a_0=1.085-1.111$	$(Cr,Co,Mo,Ni)_6C$ $(Fe_3Mo_3)C$	Observado en aceros austeníticos que contienen substanciales cantidades de Molibdeno o Niobio.
σ	Tetragonal	$a_0=0.8799-0.9188$ $c_0=0.4544-0.4599$	FeCr FeMo Fe(Cr,Mo) $(Fe,Ni)_3(Cr,Mo)_3$	Su formación a partir de δ -Ferrita es más rápida que a partir de la Austenita. Se forma con un largo tiempo de exposición a 600-900 °C.
χ	BCC	$a_0=0.8862-0.892$	$Fe_3(Cr_{12}Mo_{10})$ $(Fe,Ni)_6(Cr_{18}Mo_3)$ $M_{18}C$	Observado en aleaciones que contienen substanciales cantidades de Molibdeno. Precipita con exposición a 730-1010 °C (varia con la composición de la aleación)
η	Hexagonal	$a_0=0.470-0.4744$ $c_0=0.772-0.7725$	Fe_2Mo $(Fe_3Cr_7Si_3)$	Se forman aleaciones que contienen substanciales cantidades de Molibdeno, Titanio, o Niobio, después de una larga exposición a 600-1100 °C

Aceros inoxidables Dúplex

Son aleaciones de dos fases basadas en el sistema Fe-Cr-Ni. Estos sistemas se caracterizan por el bajo contenido de Carbono (<0.03%) y adiciones de Molibdeno, Cobre, Nitrógeno y Tungsteno. Los contenidos típicos de Cromo y Molibdeno son de 20 a 30% y 5 a 8% respectivamente. Las ventajas específicas que ofrecen los aceros inoxidables Dúplex sobre la serie 300 convencional son su fuerza (aproximadamente el doble de los aceros inoxidables Austeníticos),

ductilidad y dureza mejoradas (comparadas con los grados Ferríticos), y una superior resistencia a ralladura y corrosión. La Tabla 19 muestra las composiciones químicas de un acero inoxidable Dúplex.

Tabla 19. Composiciones químicas de un acero inoxidable dúplex.

Tipo	Composición (a), %						
	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
312	0.15	30 (nominal)	9 (nominal)	2.0	1.0	0.045	0.03

(a) los valores son máximos al menos que se indique otra cosa. (b) Opcional.

Aceros inoxidables endurecidos por precipitación (PH)

Son grados de Ni-Cr que pueden ser endurecidos por un tratamiento de envejecimiento. Estos grados se clasifican como Austenítico (como la A-286), Semi-Austenítico (como la 17-7PH), o Martensítico (como la 17-4PH). La clasificación se determina por la microestructura de la solución aleada. Las aleaciones Semi-Austeníticas son tratadas térmicamente subsecuentemente para que la Austenita se transforme en Martensita. A veces se usa el trabajado en frío para facilitar esta reacción. Para este mismo fin, también se usan elementos aleantes como Aluminio, Titanio, Niobio y Cobre. La Tabla 20 muestra las composiciones químicas de algunos aceros inoxidables endurecibles por precipitación.

Tabla 20. Composiciones químicas de aceros inoxidables endurecibles por precipitación (PH).

UNS No.	Aleación	Composición (a), %								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Otro
Martensíticos										
S13800	PH13-8 Mo	0.05	0.10	1.0	12.25-13.25	7.5-8.5	2.0-2.5	0.01	0.008	0.9-1.35 Al 0.01 N
S15500	15-5PH	0.07	1.00	1.0	14.0-15.5	3.5-5.5		0.04	0.03	2.5-4.5 Cu 0.15-0.45 Nb
S17400	17-4PH	0.07	1.00	1.0	15.0-17.5	3.0-5.0		0.04	0.03	3.0-5.0 Cu 0.15-0.45 Nb
S45000	Custom 450	0.05	1.00	1.0	14.0-16.0	5.0-7.0	0.5-1.0	0.03	0.03	1.25-1.75 Cu 8x%Cmin Nb
S45500	Custom 455	0.05	0.50	0.5	11.0-12.5	7.5-9.5	0.5	0.04	0.03	1.5-2.5 Cu 0.8-1.4 Ti 0.1-0.5 Nb
Semi-Austeníticos										
S15700	PH15-7 Mo	0.09	1.00	1.0	14.0-16.0	6.5-7.75	2.0-3.0	0.04	0.04	0.75-1.5 Al
S17700	17-7PH	0.09	1.00	1.0	16.0-18.0	6.5-7.75		0.04	0.04	0.75-1.5 Al
S35000	AM-350	0.07-0.11	0.5-1.25	0.5	16.0-17.0	4.0-5.0	2.5-3.25	0.04	0.03	0.07-0.13 N
S35500	AM-355	0.10-0.15	0.5-1.25	0.5	15.0-16.0	4.0-5.0	2.5-3.25	0.04	0.03	0.07-0.13 N

(a) los valores son máximos al menos que se indique otra cosa. (b) Opcional.

Conclusión

Las válvulas globo pueden ofrecer atractivos ahorros en los costos y los beneficios de explotación, en comparación con otras válvulas. Con capacidades de flujo alta, las válvulas globo permiten el uso de unidades más pequeñas que reducen los costos, así como los requisitos de peso y espacio. Con el uso de PFA que proporciona resistencia a productos químicos, el uso de válvulas globo se ha ampliado hacia áreas de la industria química de procesos. El PFA utilizado para estos fines no sólo debe ser resistente a la corrosión sino también resistente a la abrasión, estable en tamaño, además de contar con la capacidad de recuperación, es decir, de ser un material flexible. Lo concerniente a la corrosión por los ácidos orgánicos se complica no sólo por los numerosos ácidos que deben ser considerados, sino también por el hecho de que los ácidos típicamente no son manejados como un producto químico puro, sino, más bien, como mezclas de proceso con ácidos inorgánicos, sales y mezclas de varios ácidos.

Es tan notorio el déficit de los distintos tipos de válvulas de aplicaciones específicas, que en el estudio antes mencionado se presenta la oportunidad de elevar la producción de válvulas para satisfacer las necesidades de la cadena de valor de la industria petrolera nacional. Aunado a la motivación de fabricar válvulas globo de acero inoxidable, es conveniente revestir el interior de dichas válvulas con la resina perfluoroalcoxi (PFA), lo que hará que las válvulas presenten un extraordinario rendimiento para aplicaciones a distintas temperaturas y condiciones, lo que aumentaría sus posibilidades de empleo, a la vez que proporcionaría ahorros en el costo, ya que al estar vaciada en acero inoxidable y recubiertas con PFA, que son materiales más recomendados por su relación costo/beneficio, los costos de venta serían inferiores. Las cuestiones antes mencionadas motivan a aumentar el campo de producción, incluyendo entre estos productos válvulas especializadas para su utilización a temperaturas críticas y ambientes corrosivos, lo cual representa un área de oportunidad importante.

Referencias bibliográficas

[AWWS Standard 2001]. American Water Works Association, Butterfly valves: Torque, head loss, and cavitation analysis. ASSA Standard M49 Manual of Water Supply Practices. 2th Edition. Denver: American Water Works Association 2001.

[AWWS Standard 2006]. American Water Works Association. AWWA Standard C504-06 Rubber Seated Butterfly Valves. 12th Edition. Denver: American Water Works Association. 2006.

[Blodgett 1991]. O. Blodgett, Stress Allowables Affect Weldment Design D142. Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.

[Coz 1995]. F. Coz. Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Intermediate Technology Development Group ITDG-Perú. 1995.

[Danbon 2000]. F. Danbon, C. Sollicc. Aerodynamic torque of a butterfly valve-Influence of an elbow on the time-mean and instantaneous aerodynamic torque, Journal of Fluids Engineering 122 (2000) 337-344.

[ELAPLAS 2014]. Elastómeros y plásticos de alto rendimiento [Consultado 13 de Octubre de 2014], <http://www.elaplas.es>

[Greene 1999]. R. W. Greene, Valvulas-Selección, uso y mantenimiento Mc Graw Hill, 1999.

[Hu 2011]. C. Hu, S. Xia, H. Li, T. Liu, B. Zhou, W. Chen, N. Wang, Improving the intergranular corrosion resistance of 304 stainless steel by grain boundary network control. Corrosion Science 53 (2011) 1880-1886.

[INDURA 2010]. Manual Aceros Inoxidables [Consultado 14 de Octubre de 2014], Disponible en: http://www.indura.net/file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf

[INLAC 2013]. Estudio sectorial de válvulas de proceso para la industria petrolera en México INLAC, 2013. [Consultado 13 de Octubre de 2014], Disponible en: <http://www.pemex.com/proveedores-y-suministros/Documents/Estudio%20Sector%20Valvulas%202013.pdf>

[Jones 2008]. R. Jones, V. Randle, G. Owen, Carbide precipitation and grain boundary plane selection in overaged type 316 austenitic stainless steel. Materials Science and Engineering A496 (2008) 256-261.

[Kobayashi 2011]. S. Kobayashi, M. Hirata, S. Tsurekawa, T. Watanabe, Grain boundary engineering for control of fatigue crack propagation in austenitic stainless Steel. Procedia Engineering 10 (2011) 112-117.

[Kokawa 2007]. H. Kokawa, M. Shimada, M. Michiuchi, Z. J. Wang, Y. S. Sato, Arrest of weld-decay in 304 austenitic stainless steel by twin-induced grain boundary engineering. Acta Materialia 55 (2007) 5401-5407.

[Laufgang 2003]. S. G. Laufgang, TERMO SOLDEX S. A., 2003.

[Li 2010]. H. Li, S. Xia, B. Zhou, W. Chen, C. Hu, The dependence of carbide morphology on grain boundary character in the highly twinned alloy 690. Journal of Nuclear Materials 399 (2010) 108-113.

[Mandrujano 2009]. A. Mandrujano Monroy, Propuesta de fabricación de piezas mecánicas de un acero inoxidable AISI 416 cementadas para ser sometidas a una prueba de desgaste abrasivo, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Unidad Azcapotzalco (2009). Tesis.

[Michiuchi 2006]. M. Michiuchi, H. Kokawa, Z.j. Wang, Y. S. Sato, K. Sakai, Twin-induced grain boundary engineering for 316 austenitic stainless steel. Acta Materialia 54 (2006) 5179-5184.

[Ogawa 1995]. K. Ogawa, T. Kimura, Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve-Prediction of torque characteristics. ISA Transactions 34 (1995) 327-333.

[Paredes 2014]. J. G. Paredes García, Ingeniería ambiental-Diseño de elementos de equipo, Tecnológico de Estudios

Superiores Oriente del Estado de México (2014).

[Park 2006]. J. Y. Park, M. K. Chung, Study on hydrodynamic torque of a butterfly valve. *Journal of Fluids Engineering* 128 (2006) 190-195.

[Patente JP63140182-A 1988]. Kitazawa Valve CO LTD, Valve seat for chemical plant, food industry etc. - made from poly:tetra:fluoroethylene, and tetra:fluoroethylene and per:fluoroalkyl:vinil:ether copolymer and carbón fibres 1988.

[Patente US4266752-A 1981]. JOHNSON S.A. Seal part for butterfly valve-pressure fluid entering sIot to compress seal ring and enhance sealing.

[Rodríguez 2011]. M. A. Rodríguez Martínez, Tipos de válvulas, criterios de selección y pruebas a válvulas de relevo de presión, Universidad Veracruzana. 2011. Monografía.

[Senatore 2007]. M. Senatore, L. Finzetto, E. Perea, Estudo comparative entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L, R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60 1(2007) 175-181.

[Seong 2008]. K. Seong-Dong, K. Beom-Seok, C. Young-Do, L. Young-Ho, Prediction of cavitation occurrence in a cryogenic butterfly valve by flow velocity, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering* 9 (2008) 923-930.

[Song 2009]. X. G. Song, L. Wang, S. H. Baek, Y. C. Park, Multidisciplinary optimization of a butterfly valve, *ISA Transactions* 48 (2009) 370-377.

[Spigarelli 2003]. S. Spigarelli, M. Cabiboo, E. Evangelista, G. Palumbo, Analysis of the creep strength of a low-carbon AISI 304 steel with low- Σ grain boundaries. *Materials Science and Engineering A352* (2003) 93-99.

[Villarroel 2013]. L. F. Villarroel Quinde, Diseño de válvula de admisión tipo mariposa con diámetro nominal de 750 mm para una central hidroeléctrica de 34.7 m de salto neto, Pontificia Universidad Católica del Perú (2013). Tesis.

[Warring 1999]. H. R. Warring, C. Dickenson, Valves, Piping and Pipelines, Handbook. 3rd edition. Oxford: Elsevier Science Ltd. 1999.

TECNOLOGÍA DE EQUIPOS DE INYECCIÓN DE CERA, RECUBRIMIENTO CERÁMICO, FUSIÓN Y VACIADO, ACONDICIONAMIENTO, MAQUINADO Y ENSAMBLE



Inyectoras de cera



Área de armado de arboles



Área de secado de arboles



Tinas mezcladoras de lodos



Cubas o tinas contenedoras de arena o lluvia



Secado de moldes cerámicos



Zona de fusión y vaciado



Hornos de fusión por inducción



Horno de sinterizado de moldes



Cuarto de desmolde



Equipo de sandblast



Equipos de sandblast



Cortadora de disco y tornillo de banco